

УДК [528.02+528.48:693]:665.6/.7

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-19-26

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПОД НЕФТЕПРОДУКТЫ

Роман Павлович Горбулин

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, ул. Сibaковская, 4, аспирант кафедры геодезии и дистанционного зондирования, тел. (3812)65-37-18, e-mail: rp.gorbulin21.06.02@omgau.org

Анатолий Иванович Уваров

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, ул. Сibaковская, 4, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и дистанционного зондирования, тел. (3812)65-37-18, e-mail: ai.uvarov@omgau.org

Принято считать, что точность геометрических характеристик элементов конструкций является одним из ключевых показателей особенностей строительства. В ГОСТ 21778-81 указывается, что в производстве используются необходимые средства и принципы технологического обеспечения точности при разработке проекта сооружений. Точность строительных элементов по геометрическим характеристикам зависит от неточностей изготовления деталей, геодезических разбивочных и строительно-монтажных работ. Из этого следует, что показатели по точности геометрических характеристик и надежности строительных систем по назначению взаимосвязаны. Коэффициенты надежности строительных систем по назначению зависят от уровня ответственности зданий и сооружений. Поэтому цель нашей работы – обоснование назначения точности геодезических работ при возведении стальных резервуаров с учетом уровня их ответственности. Предлагается в строительных нормах и правилах по проектированию строительных конструкций и элементов при их вычислениях по методу предельных состояний использовать систему частных коэффициентов уже из пяти групп. Обоснованы показатели средних квадратических отклонений при монтаже и эксплуатации стальных резервуаров с учетом их ответственности. Предложено допуски на геометрические параметры при возведении стальных резервуаров назначать с учетом показателей их надежности по ответственности. Выполнено обоснование норм точности (значений средних квадратических отклонений) на геодезическое обеспечение возведения стальных резервуаров с учетом класса сооружения и показателей надежности их строительных конструкций по ответственности.

Ключевые слова: нормы точности, резервуары, коэффициенты надежности, геодезические измерения, деформации, показатели ответственности, геометрические параметры, класс сооружения

Введение

Территория нашей страны покрыта многолетней мерзлотой на 64 %, как правило, добыча нефти и газа приходится на освоение северных районов, соответственно возникает вопрос о хранении этих ресурсов. Одно из многих решений о сохранности ресурсов – это стальные резервуары, которые свою очередь должны обеспечиваться качественным обследованием для предотвращения аварийных ситуаций. Стоимость свайных фундаментов с ростверком и плитами обычно превышает стоимость конструкций резервуаров.

Геодезическое обеспечение монтажа и дальнейшей эксплуатации таких сооружений является важной задачей.

Большое количество нормативных документов и научных исследований посвящено геодезическому обеспечению монтажа сооружений, исследованию их деформаций, в том числе касающихся стальных резервуаров [1–27], что говорит об актуальности исследований в данном направлении. Для обеспечения устойчивой работы резервуаров при их возведении необходимо выполнять геодезические работы по нормам точности, учитывающим уровень ответственности сооружений.

Методы и материалы

В работе [2] при расчетах строительных конструкций по предельным состояниям предложено в нормах проектирования использовать систему частных коэффициентов надежности из пяти групп, в том числе коэффициентов надежности их по назначению и точности геометрических параметров.

Точность геометрических параметров строительных конструкций зависит от погрешностей изготовления деталей, геодезических разбивочных и строительно-монтажных работ. Погрешности же в положении строительных элементов оказывают влияние на надежность конструкций зданий и сооружений.

Следовательно, показатели точности геометрических параметров и надежности строительных конструкций по назначению взаимосвязаны. Коэффициенты надежности строительных конструкций по назначению зависят от уровней ответственности зданий и сооружений. Поэтому необходимо обоснование точности возведения стальных резервуаров с учетом ответственности зданий и сооружений. Исследования по мониторингу резервуаров отражены в работах зарубежных авторов [3–8].

Под надежностью строительных систем следует понимать способность их выполнять заданные функции в эксплуатационный период. Другими словами, надежность можно охарактеризовать как вероятность того, что в заданный период эксплуатации не наступит ни одно из недопустимых предельных состояний для строительных конструкций или их элементов.

Способность конструктивных систем выполнять, при заданных условиях возведения и во время эксплуатации, установленные для них функции изучает прикладная теория надежности. Расчет конструктивных элементов уже по допустимым напряжениям (традиционным методом) предполагает собой метод оценки или обеспечения механической прочности (надежности).

Российскими учеными в 1938 г. был изобретен способ расчета конструкций (бетонных, железобетонных и каменных) с учетом разрушающих нагрузок, а затем и способ, учитывающий предельные состояния. Способ расчета

по предельным состояниям вводится в действие в Советском Союзе с 1955 г. в качестве общего метода для расчета строительных элементов, а с 1962 г. – для расчета оснований.

В расчетах конструктивных элементов по несущей способности (по первому предельному состоянию) в нормах проектирования вместо единого коэффициента запаса вводится ряд коэффициентов, которые берут во внимание переменчивость фактических значений нагрузок, прочностных характеристик материалов и условий работы конструктивных элементов.

Затраты на возведение стальных резервуаров в большей степени зависят от расходов материалов, эксплуатации машин и оборудования, трудозатрат и в меньшей степени от назначения объектов или уровня ответственности зданий. Показатель же надежности существенно зависит от назначения объектов и показателей уровня ответственности зданий. В основных положениях по проектированию вводится четвертый коэффициент, учитывающий уровень ответственности сооружений или надежности по назначению. При разработке же других конструктивных элементов зданий и сооружений показатели ответственности сооружений или надежности по назначению не учитывались, так как не были установлены.

В работе [2] рекомендуется применять показатели ответственности для различных по назначению сооружений. Предлагается также в строительных нормах и правилах по проектированию строительных конструкций и элементов при их вычислениях по методу предельных состояний использовать систему частных коэффициентов уже из пяти групп.

В этом случае неравенство, учитываемое при расчете конструкций по первому предельному состоянию – по прочности или устойчивости (по несущей способности), можно представить в следующем виде:

$$\frac{\gamma_{ni}}{\gamma_{ti}(N^H * \gamma_{fi})} \leq \Phi \left(\frac{S_i; R_i^H; 1}{\gamma_{mi}; \gamma_{di}} \right), \quad (1)$$

где N^H – усилия от нормативных нагрузок;

Φ – функция, описывающая род усилия (сжатие, изгиб и т. д.);

S_i – характеристики сечения (геометрические);

R_i^H – характеристика нормативного сопротивления материалов;

γ_{fi} – коэффициенты надежности, учитывающие нагрузку;

γ_{mi} – коэффициенты надежности, учитывающие материал;

γ_{di} – коэффициенты, учитывающие условия работ;

γ_{ni} – коэффициенты, учитывающие ответственность зданий и сооружений или надежность конструкций;

γ_{ti} – коэффициенты надежности, учитывающие точность геометрических параметров конструкций.

Коэффициенты γ_{fi} , γ_{mi} , γ_{di} в научной литературе в достаточной мере исследованы. Принципы учета уровня ответственности зданий и сооружений в целях проектирования конструкций описаны в работе [9], а в нормативных документах по расчету строительных систем приведены значения коэффициентов надежности согласно их назначению.

Следует отметить, что значимость коэффициентов надежности по точности геометрических характеристик исследована недостаточно. В пособии [10] предлагается допуск на геометрические параметры строительных конструктивных элементов при их возведении устанавливать с учетом показателей ответственности.

С учетом ответственности сооружений в работе [2] коэффициенты надежности по назначению γ_{ni} рекомендуется принимать равными: 1; 0,95; 0,9.

С учетом этих показателей средние квадратические отклонения (нормы точности) при возведении строительных конструкций в работах [11, 12] предложено назначать следующим образом:

$$\gamma_n = 1; t = 3; P = 0,997; \sigma = \frac{\Delta}{6} = \pm \frac{\delta}{3}; \quad (2)$$

$$\gamma_n = 0,95; t = 2; P = 0,95; \sigma = \frac{\Delta}{4} = \pm \frac{\delta}{2}; \quad (3)$$

$$\gamma_n = 0,9; t = 1,65; P = 0,9; \sigma = \frac{\Delta}{3,3} = \pm \frac{\delta}{1,65}. \quad (4)$$

При этом допускается отклонение размера и положения строительного компонента в ходе изготовления и монтажа от проектного или номинального значения (x_0) в интервале $2t$. В этом случае границы этого интервала принимаются за предельные отклонения размеров или положения строительного элемента.

В соответствии с ГОСТ [13], здания и сооружения подразделяют по их ответственности на три уровня: I – повышенный; II – нормальный; III – пониженный.

Стальные резервуары под нефтепродукты относятся к сооружениям с повышенным уровнем ответственности и делятся на классы по опасности в зависимости от их номинального объема. Несвоевременное определение нарушений в работе резервуарных парков может повлечь за собой тяжелые социальные, экономические и экологические последствия, поэтому нужен качественный мониторинг их деформаций с помощью современных электронных приборов и средств измерений. В статье [14] дано описание комплекса инженерно-геодезических изысканий, выполняемых при наблюдениях за вертикальными смещениями фундаментов объектов нефтегазовой промышленности в северных районах. Технология измерения геометрических параметров оболочки резервуаров и их оснований описаны в [15]. При расчете конструкций, геометрических элементов и параметров резервуаров и их оснований коэффициент надежности по ответственности γ_n рекомендуется принять равным: для I уровня – от 0,95 до 1,2; II уровня – 0,95; III уровня – менее 0,95, но не менее 0,8. В примечании к стандарту отмечено, что настоящий пункт не распространяется на здания и сооружения, учет ответственности которых установлен в соответствующих документах. При проектировании резервуаров и расчете норм точности для условий Крайнего Севера необходимо учитывать наличие многолетнемерзлых грунтов и свайных оснований, на которых размещаются сооружения (рисунок).



Резервуары на свайном основании в Республике Саха (Якутия)

Таблица 1

Минимальные значения коэффициентов надежности по ответственности

Класс сооружений	Уровень ответственности	Минимальные значения коэффициента надежности по ответственности, γ_n
КС-3	повышенный	1,1
КС-2	нормальный	1,0
КС-1	пониженный	0,8

Таблица 2

Классификация резервуаров по уровню их ответственности

Класс резервуара	Объем V , м ³
I	от 50 000 до 120 000
II	от 2 000 до 50 000
III	от 1 000 до 20 000
IV	1 000 и менее

С учетом этих особенностей, а также изменений, внесенных в ГОСТ [16], предлагается назначать средние квадратические отклонения (нормы точности) при возведении стальных резервуаров и мониторинге их деформаций с учетом уровней ответственности:

– для I уровня, с вероятностью $P = 0,997$

$$0,95 < \gamma_n \leq 1,2; t = 3; \sigma = \frac{\Delta}{6} = \pm \frac{\delta}{3}; \quad (5)$$

– для II уровня с вероятностью $P = 0,95$

$$\gamma = 0,95; t = 2; \sigma = \frac{\Delta}{4} = \pm \frac{\delta}{2}; \quad (6)$$

– для III уровня с вероятностью $P = 0,9$

$$0,8 < \gamma_n \leq 0,95; t = 1,65; \sigma = \frac{\Delta}{3,3} = \pm \frac{\delta}{1,65}. \quad (7)$$

Результаты

С учетом изменений, внесенных в ГОСТ [16], предлагается назначать нормы точности в зависимости от класса сооружений. При проектировании стальных резервуаров необходимо использовать коэффициенты надежности по ответственности [17], минимальные значения которых приведены в табл. 1.

В зависимости от номинального объема резервуары подразделяются на следующие классы, характеристики которых приведены в табл. 2.

Класс резервуара должен учитываться при назначении:

– специальных требований к методам изготовления, материалам, объемам контроля качества;

– значений коэффициентов надежности по ответственности;

– выборе средств и способов геодезических измерений при монтаже и мониторинге деформаций.

Отнесем резервуары I класса к сооружениям с повышенным уровнем ответственности (КС-3), резервуары II класса – к сооружениям нормального уровня ответственности, резервуары III и IV классов – к сооружениям с пониженным уровнем ответственности, так как для резервуаров, мостов, стадионов в нормах проектирования таких типов сложных конструкций допускается устанавливать иные классы соответствующих сооружений.

С учетом требований, предъявляемых для каждого класса сооружений, получим нормы точности на геодезическое обеспечение при возведении и мониторинге деформаций стальных резервуаров:

– для класса сооружений КС-1 с вероятностью

$$P = 0,9; t = 1,65; \gamma_n = 0,8; \sigma = \frac{\Delta}{3,3} = \pm \frac{\delta}{1,65}. \quad (8)$$

– для класса сооружений КС-2 с вероятностью

$$P = 0,95; t = 2; \gamma_n = 1,0; \sigma = \frac{\Delta}{4} = \pm \frac{\delta}{2}; \quad (9)$$

– для класса сооружений КС-3 с вероятностью

$$P = 0,997; t = 3; \gamma_n = 1,1; \sigma = \frac{\Delta}{6} = \pm \frac{\delta}{3}. \quad (10)$$

Таким образом, получены обоснованные нормы точности на геодезические работы при возведении резервуаров вертикальных стальных. Нормы учитывают уровень ответственности сооружений с необходимой достоверной вероятностью (надежностью) и обеспечивают соблюдение допусков на их геометрические параметры. При расчете необходимой точности геодезических измерений за основу следует принимать значения предельных значений отклонений (допусков).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 21778–81. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения. – Введ. 01.07.81. – М. : Стандартинформ, 1981. – 13 с.
- Отставнов В. А., Смирнов А. Ф., Райзер В. Д., Сухов Ю. Д. Учет ответственности зданий и сооружений в нормах проектирования строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1981. – № 1. – С. 1–5.
- Beshr A. A. Accurate surveying measurements for smart Structural members : M. Sc. Thesis. – Mansoura : Mansoura university, 2004. – 194 p.
- Beshr A. A. Development and Innovation of Technologies for Deformation Monitoring of Engineering Structures Using Highly Accurate Modern Surveying Techniques and Instruments : Ph. D. thesis. – Russia, Novosibirsk : Siberian State Geodesy Academy, 2010. – 205 p.
- Ehigiator-Irughe R., Beshr A. A., Ehiorobo J. O., Ehigiator O. M. Modification of Geodetic Methods for Determining the Monitoring Station Coordinates on the Surface of Cylindrical Oil Storage Tank // Research Journal of Engineering and Applied Sciences (RJEAS). – 2011. – Vol. 1 (1). – P. 58–63.
- Ashraf A. B., Ehigiator-Irughe R. A., Ehigiator O. M. Structural deformation analysis of cylindrical oil storage tank using geodetic observations // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сборник материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА. Т. 1. – С. 38–43.
- Середович В. А., Эхигиатор–Иругхе Р., Эхигиатор О. М., Ориакхи Х. Прогноз деформаций с использованием функций показательного многочлена // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 148–154.
- Vanatwerp R. L. Engineering and design: deformation monitoring and control surveying : Engineer manual. – USA, Washington DC : US Army Corps of Engineering, 1994. – 141 p.
- Правила учета степени ответственности зданий и сооружений при проектировании конструкций // Бюллетень строительной техники. – 1981. – № 7. – С. 12–15.
- Столбов Ю. В., Столбова С. Ю. Геодезическое обеспечение строительства зданий и сооружений : учеб. пособие. – Омск : ОмГАУ, 2012. – 119 с.
- Столбов Ю. В., Синютина Т. П., Кокуленко С. Ю. Вероятностно-статистический метод расчета точности строительно-монтажных и разбивочных работ при строительстве многоэтажных каркасных зданий // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Город и транспорт». – Омск : СибАДИ, 1996. Ч. II. – С. 53–55.
- Столбов Ю. В., Кокуленко С. Ю., Ляшко С. В. Обоснование точности детальной разбивки осей и монтажа конструкций при возведении одноэтажных зданий дрожжзавода в городе Омске // Строительство в новых хозяйственных условиях : сборник научных трудов. – Омск : Изд-во СибАДИ, 1999. – С. 22–31.
- ГОСТ 27751–88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения – Введ. 01.07.88. – М. : Стандартинформ, 1988 г. – 9 с.
- Гарагуль А. С., Уваров А. И., Горбулин Р. П. Геодезический мониторинг деформаций сооружений нефтегазоконденсатного комплекса // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2018. – № 10 (165). – С. 52–59.
- Горбулин Р. П., Уваров А. И., Пронина Л. А. Геодезические методы контроля наблюдений за деформациями резервуаров // XXIV науч.-техн. студ. конф. – Омск : Омский государственный аграрный университет. – 2018. – С. 41–47.

16. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Введ. 01.07.2014 – М. : Стандартинформ, 2015. – 16 с.
17. ГОСТ 31385–2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. – Введ. 01.01.2016. – М. : Стандартинформ, 2016. – 5 с.
18. Гуляев Ю. П. Анализ подходов к обоснованию точности геодезических наблюдений за деформационными процессами // Геодезия и картография. – 2007. – № 8. – С. 11–16.
19. Новоселов Б. А., Новоселов Д. Б. Геодезический контроль строительства и эксплуатации главного корпуса обогатительной фабрики «Распадская» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 66–71.
20. Калинин И. С. Разработка технологических решений и исследования по оптимизации методики геодезического мониторинга геотехнических систем заполярья : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2014. – 24 с.
21. Сальников В. Г. Совершенствование методики геодезических измерений для обеспечения строительства и эксплуатации энергетических объектов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2015. – 24 с.
22. Гайсин Э. Ш., Гайсин М. Ш. Современное состояние проблем обеспечения надежности резервуаров для нефти и нефтепродуктов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2016. – № 2. – С. 31–40.
23. Хрисаненкова Т. М. Исследование деформаций стенок цилиндрических резервуаров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : материалы конф. г. Воронеж. – Воронеж : Изд-во ВГЛУ им. Г. Ф. Морозова, 2015. – С. 156–159.
24. Бурков П. В., Буркова С. П., Тимофеев В. Ю., Алешкина А. А., Ащеулова А. А. Исследование состояния днища вертикального стального резервуара, анализ методик диагностики его состояния и выявления причин его деформации // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 4. – С. 79–81.
25. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Фролов И. С. Геодезический мониторинг и выверка металлургического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 132–143.
26. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–19.
27. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений : монография. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 256 с.

Получено 16.03.2020

© П. П. Горбулин, А. И. Уваров, 2020

NORMALIZATION OF ACCURACY OF GEODESIC MEASUREMENTS AND CONSTRUCTION AND INSTALLATION WORKS WHEN ESTABLISHING STEEL RESERVOIRS UNDER OIL PRODUCTS

Roman P. Gorbulin

Omsk State Agrarian University P. A. Stolypin, 4, Sibakovskaya St., Omsk, 644008, Russia, Ph. D. Student, Department of Geodesy and Remote Sensing, phone: (3812)65-37-18, e-mail: rp.gorbulin 06.21.02@omgau.org

Anatoly I. Uvarov

Omsk State Agrarian University P. A. Stolypin, 4, Sibakovskaya St., Omsk, 644008, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Remote Sensing, phone: (3812) 65-37-18, e-mail: ai.uvarov@omgau.org

It is generally accepted that the accuracy of the geometric characteristics of structural elements is one of the key indicators of construction features. GOST 21778-81 states that the necessary means and principles of technological accuracy are used in the production of the design of structures. The accuracy of building elements according to geometric characteristics depends on inaccuracies in the manufacture of parts, geodetic alignment

and construction works. From this it follows that the indicators for the accuracy of geometric characteristics and the reliability of building systems for the purpose are interconnected. The reliability factors of building systems for the intended purpose depend on the level of responsibility of buildings and structures. Therefore, the purpose of our work is to justify the purpose of the accuracy of geodetic works in the construction of steel tanks, taking into account the level of their responsibility. Conducting research by many authors indicate that the distribution of errors in the sizes and positions of the structure of components is subject to the normal distribution law. It is proved that elementary errors in the position of the order of components and nodes are summed up. The value of the reliability factors for the accuracy of the geometric parameters of the building structures of steel tanks is not yet sufficiently substantiated. Tolerances for geometric parameters in the construction of steel tanks are proposed to be assigned taking into account the indicators of their reliability in terms of responsibility. The substantiation of the accuracy standards (mean square deviations) for the geodetic support of the construction of steel tanks was carried out taking into account the class of construction and reliability indicators of their building structures in terms of responsibility.

Keywords: accuracy standards, tanks, reliability factors, geodetic measurements, deformations, indicators of responsibility, geometric parameters, class of construction

REFERENCES

1. GOST 21778-81. (1981). A system for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. Key Points. Moscow: Standartinform Publ., 13 p. [in Russian]
2. Otstavnov, V. A., Smirnov, A. F., Rayzer, V. D., & Sukhov, Yu. D. (1981). Accounting for the responsibility of buildings and structures in the norms of design of building structures. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Construction Mechanics and Calculation of Structures]*, 1, 1–5 [in Russian].
3. Beshr, A. A. (2004). Accurate surveying measurements for smart Structural members. *M. Sc. Thesis*. Mansoura: Mansoura university Publ., 194 p.
4. Beshr, A. A. (2010). Development and Innovation of Technologies for Deformation Monitoring of Engineering Structures Using Highly Accurate Modern Surveying Techniques and Instruments. *Ph. D. thesis*. Russia, Novosibirsk: Siberian State Geodesy Academy Publ., 205 p.
5. Ehigiator-Irughe, R., Beshr, A. A., Ehiorobo, J. O., & Ehigiator, O. M. (2011). Modification of Geodetic Methods for Determining the Monitoring Station Coordinates on the Surface of Cylindrical Oil Storage Tank. *Research Journal of Engineering and Applied Sciences (RJEAS)*, 1(1), 58–63 [in Russian].
6. Ashraf, A. B., Ehigiator-Irughe, R. A., & Ehigiator, O. M. (2010). Structural deformation analysis of cylindrical oil storage tank using geodetic observations. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2010: T. 1 [Proceedings of GEO-Siberia-2010: Vol. 1]* (pp. 38–43). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
7. Sereдович, V. A., Ehigiator-Irughe, R., Ehigiator, M. O., & Oriakhi Henry. (2012). Deformation Prediction Using Exponential Polynomial Functions. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, kartografiya, geoinformatika i marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Cartography, Geoinformation and Mine Surviving]* (pp. 148–154). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
8. Vanatwerp, R. L. (1994). *Engineering and design: deformation monitoring and control surveying: Engineer manual*. USA, Washington DC: US Army Corps of Engineering Publ., 141 p.
9. Rules for accounting for the degree of responsibility of buildings and structures in the design of structures. (1981). *Byulleten' stroitel'noy tekhniki [Bulletin of Construction Equipment]*, 7, 12–15 [in Russian].
10. Stolbov, Yu. V., & Stolbova, S. Yu. (2012). *Geodezicheskoe obespechenie stroitel'stva zdaniy i sooruzheniy [Geodetic support for the construction of buildings and structures]*. Omsk: OmGAU Publ., 119 p. [in Russian].
11. Stolbov, Yu. V., Sinyutina, T. P., Kokulenko, & S. Yu. (1996). Probabilistic-statistical method for calculating the accuracy of construction and alignment works in the construction of multi-storey frame buildings. In *Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: ch. II. Gorod i transport [Proceedings of International Scientific and Practical Conferences: Part II. City and Transport]* (pp. 53–55). Omsk: SibADI Publ. [in Russian].
12. Stolbov, Yu. V., Kokulenko, S. Yu., & Lyashko, S. V. (1999). Justification of the accuracy of a detailed breakdown of axes and installation of structures during the construction of single-story buildings of a yeast plant in the city of Omsk. In *Sbornik nauchnykh trudov: Stroitel'stvo v novykh khozyaystvennykh*

usloviyakh [Collection of Scientific Papers: Construction in New Economic Conditions] (pp. 22–31). Omsk: SibADI Publ. [in Russian].

13. GOST 27751–88. (1988). Reliability of building structures and foundations. Key Points. Moscow: Standartinform, 9 p. [in Russian].

14. Garagul, A. S., Uvarov, A. I., & Gorbulin, R. P. (2018). Geodetic monitoring of deformations of structures of the oil and gas condensate complex. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land Management, Cadastre and Land Monitoring]*, 10(165), 52–59 [in Russian].

15. Gorbulin, R. P., Uvarov, A. I., & Pronina, L. A. (2018). Geodesic methods for monitoring observations of tank deformations. In *Sbornik materialov XXIV nauchno-tehnicheskoy studencheskoy konferentsii [Proceedings of XXIV Scientific and Technical Student Conferences]* (pp. 41–47). Omsk: Omsk State Agrarian University Publ. [in Russian].

16. GOST 27751–2014. (2015). Reliability of building structures and foundations. Key Points. Moscow: Standartinform Publ., 16 p. [in Russian].

17. GOST 31385–2016. (2016). Vertical cylindrical steel tanks for oil and oil products. Moscow: Standartinform Publ., 5 p. [in Russian].

18. Gulyaev, Yu. P. (2007). Analysis of approaches to substantiating the accuracy of geodetic observations of deformation processes. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 8, 11–16 [in Russian].

19. Novoselov, B. A., & Novoselov, D. B. (2012). Geodetic control of the construction and operation of the main building of the Rapsadskaya concentrator. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, kartografiya, geoinformatika i marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Cartography, Geoinformation and Mine Surviving]* (pp. 66–71). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

20. Kalinchenko, I. S. (2014). Development of technological solutions and research to optimize the method of geodetic monitoring of geotechnical systems of the Arctic. *Extended abstract of candidate's thesis*. Novosibirsk, 24 p. [in Russian].

21. Salnikov, V. G. (2015). Improving the methodology of geodetic measurements to ensure the construction and operation of energy facilities. *Extended abstract of candidate's thesis*. Novosibirsk, 24 p. [in Russian].

22. Gaysin, E. Sh., & Gaysin, M. Sh. (2016). The current state of the problems of ensuring the reliability of reservoirs for oil and oil products. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya [Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons]*, 2, 31–40 [in Russian].

23. Khrisanenkova, T. M. (2015). The study of the deformation of the walls of cylindrical reservoirs. In *Sbornik materialov konferentsii: Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. Proceedings of Conferences: Actual Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice* (pp. 156–159). Voronezh: VGLTU im. G. F. Morozova Publ. [in Russian].

24. Burkov, P. V., Burkova, S. P., Timofeev, V. Yu., Aleshkina, A. A., & Ascheulova, A. A. (2013). Investigation of the state of the bottom of a vertical steel tank, analysis of the method-diagnostics of diagnosing its condition and identifying the causes of its deformation. *Vestnik KuzGTU [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]*, 4, 79–81 [in Russian].

25. Mogilny, S. G., Sholomitsky, A. A., & Frolov, I. S. (2013). Geodetic monitoring and reconciliation of metallurgical equipment. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, kartografiya, geoinformatika i marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Cartography, Geoinformation and Mine Surviving]* (pp. 132–143). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

26. Nikonov, A. V. (2013). Features of the use of modern geodetic instruments for monitoring precipitation and deformation of buildings and structures of energy facilities. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 4(24), 12–19 [in Russian].

27. Gulyaev, Yu. P. (2008). *Prognozirovanie deformatsii sooruzheniy na osnove rezul'tatov geodezicheskikh nablyudeniy [Forecasting the deformation of structures based on the results of geodetic observations]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 256 p. [in Russian].

Received 16.03.2020

© R. P. Gorbulin, A. I. Uvarov, 2020