

УДК 528.02/.08:621.642-034.14
DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-19-27

Назначение допусков на геодезические измерения деформаций стальных резервуаров с учетом процесса протекания и их ответственности по назначению

Р. П. Горбулин^{1}, Ю. В. Столбов¹, Л. А. Пронина²*

¹ Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, г. Омск, Российская Федерация

² Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск, Российская Федерация

* e-mail: rp.gorbulin@omgau.org

Аннотация. Целью публикации является анализ методик расчетов точности геодезических работ в строительном производстве малоемкостных сооружений, которые могут быть активно использованы при возведении и эксплуатации стальных вертикальных резервуаров. Для этого рассмотрена методика расчета, учитывающая операционные технологии протекания строительного производства резервуаров и их ответственности по назначению. Полученные результаты показывают, что для обеспечения стабильной работы резервуаров при их строительстве необходимо выполнять геодезические работы по нормативным критериям точности с учетом степени ответственности сооружений и рисков опасности. В результате по достигнутому уровню точности технологии строительного производства определены нормативные критерии точности контрольных измерений с учетом технологических операций строительного производства. Методика сочетания среднеквадратических ошибок измерений и значений величин деформационных смещений оснований и фундаментов малоемкостных сооружений рассматривается на основе положений теории вероятностей. Полученные результаты показывают, что при расчете характеристик надежности оснований и фундаментов резервуаров необходимо учитывать, как основной фактор, при назначении нормируемые показатели точности геодезических измерений деформационных смещений и принимать их предельные допустимые отклонения. Кроме того, в условиях многолетнего распространения мерзлых грунтов следует учитывать температурные колебания и геологические показатели поверхности. Приведены значения среднеквадратических ошибок геодезических измерений величин деформационных смещений оснований и фундаментов резервуаров вертикальных стальных (РВС) на этапах строительного производства.

Ключевые слова: параметры точности, резервуары, коэффициенты надежности, геодезические измерения, технологический процесс, деформационные смещения, показатели ответственности, геометрические параметры, класс сооружения

Введение

Строительство и возведение резервуаров является одной из самых сложных и уникальных технологических операций в отрасли нефтяной промышленности. Это связано с причиной использования больших емкостей, которые являются довольно металлоемкими сооружениями, требующими существенных трудовых затрат, а также значительный объем стройтехники. Проанализировав число аварий, связанных с потерей работоспособности или разрушений в целом, можно сказать о некачественном и несвоевременном геодезическом мониторинге стальных резервуаров, поэтому данная

тема исследования является актуальной. Геодезическое сопровождение сборки конструкций и дальнейшая их эксплуатация требует систематически проводить мониторинг деформационных процессов стальных резервуаров, выполнять качественный анализ полученных результатов измерений. Перечисленные мероприятия являются важной научно-технической задачей использования сооружений подобного типа. Для поддержания стабильной работы стальных резервуаров при их строительстве необходимо выполнять геодезические работы по параметрам надежности, включающие в себя уровень ответственности конструкций и класс опасности их использования.

На основании требований, изложенных в [1], при проектировании зданий и сооружений следует учитывать научно-технические правила и нормы, гарантирующие показатели точности в соответствии с проектными характеристиками геометрических свойств объекта строительства, и гарантировать их соблюдение на этапах строительства и эксплуатации. Для достижения требуемой точности геометрических характеристик элементов конструкции должны быть обоснованы геодезические допуски на измерение деформационных смещений как при монтаже, так и при эксплуатации вертикальных резервуаров.

Методы и материалы

В данной статье проанализирован метод расчета, учитывающий точность технологических процессов в строительстве. Указанная методология применялась в промышленном гражданском строительстве и рассматривается в следующих работах [2–5]. Точность контрольных измерений устанавливается

с учетом достигнутого уровня нормативных характеристик технологии строительства. Методика определяет процент погрешности процесса измерения от общей погрешности строительства конструктивных элементов сооружений, оптимизируется точность как строительных, так и геодезических работ, что приводит к существенному сокращению временных норм и материальных средств на их реализацию.

При обосновании представленной методики выявлено, что ошибки контрольных измерений, взаимодействуя с технологическими ошибками, влияют на оценку результатов технологического цикла в целом. Закону нормального распределения подвергаются как технологические ошибки, так и ошибки контрольных измерений. Схема кривой нормального распределения, связанная с технологическими операциями, согласно границам полей области допуска, заметно искажается, что говорит о воздействии ошибок контрольных измерений, как это изображено на рисунке.

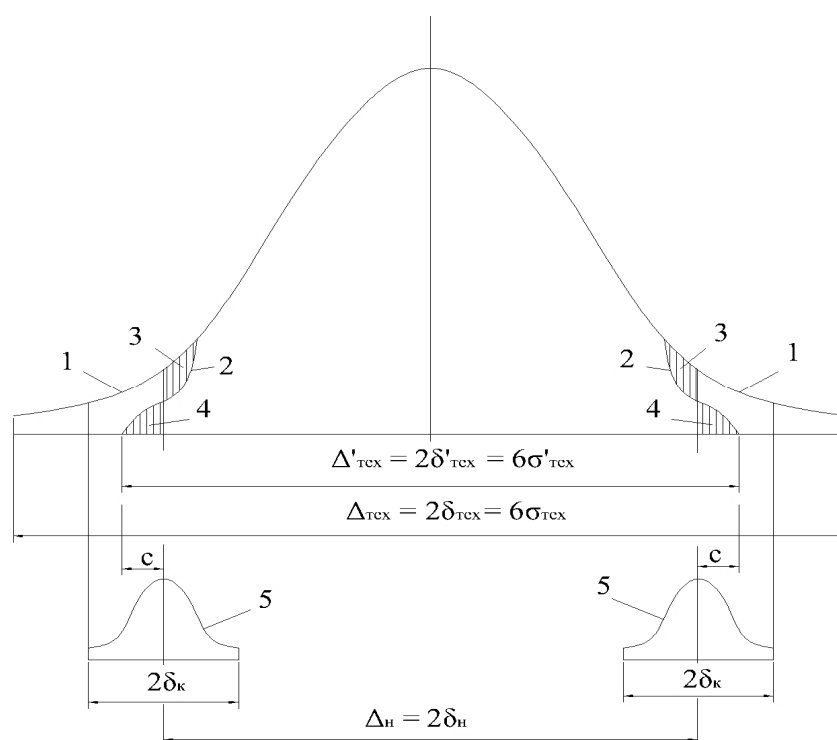


Схема распределения ошибок по результатам контрольных измерений:

1 – схема, показывающая размещение ошибок технологического процесса без учета погрешностей контрольных измерений; 2 – схема, показывающая размещение ошибок технологического процесса, учитывающая влияние погрешностей контрольных измерений; 3 – площадь забракованных отклонений; 4 – площадь некорректных отклонений; 5 – схема, показывающая расположение погрешностей контрольных измерений

Наблюдения за деформационными смещениями конструктивных особенностей стальных резервуаров необходимо осуществлять как в периоды строительства, так и в течение эксплуатации данного типа уникальных сооружений. Если во время эксплуатационного периода на резервуаре появились трещины или обнаружены раскрытия швов, что влечет за собой резкое изменение условий работы РВС, перечисленные процессы требуют дополнительных контрольных измерений, выполненных геодезической службой.

Для проведения полевого обследования деформационных смещений необходимы обоснованные параметры точности измерений, которые определяли бы выбор методов и средств измерений, временные и материальные затраты.

Степень деформационных смещений оснований и фундаментов зданий и сооружений определяется их величиной и скоростью и, как известно, зависит от ряда факторов (например, геологического строения основания, изменения гидрологических условий, уровня грунтовых вод) и технологических операций производства.

Например, в [6] указывается, что значения деформационных процессов основания и фундамента РВС являются функцией случайных величин. Поэтому сочетание погрешностей измерений и значений величин деформационных смещений основания и фундамента резервуара должно рассматриваться на основе теории вероятностей.

При расчете оснований и фундаментов по величинам деформационных смещений в качестве основы для задания критериев точности измерений деформационных сдвигов следует рассматривать предельно допустимые значения, приведенные в [7], и наличие пород характерных для районов вечной мерзлоты [8].

Измерения процесса деформирования оснований и фундаментов РВС проводятся для определения неоднородности осадки фундамента и сравнения ее с допустимыми значениями, а также для определения величин деформационных смещений и сравнения их с проектными или предельными значениями. Поэтому в [7, 8] приведены ограничения на неравномерную осадку (относительную вели-

чину деформационного смещения фундамента и грунта) и максимальную или среднюю осадку фундаментов. Рекомендации по учету уровня ответственности зданий и сооружений как немаловажного фактора при оценке осадочных сдвигов изложены в работе [9]. В практике геодезического мониторинга зданий и сооружений даже значительные равномерные осадки могут не оказывать существенного влияния на устойчивость зданий и сооружений, но именно они считаются наиболее опасными. Исследования деформационных процессов стальных резервуаров часто встречаются у зарубежных авторов, что говорит об обширной географии данной проблематики [10–16].

При измерении величин деформационных смещений оснований и фундаментов необходимо рассчитывать точность, требуемую для измерения деформации РВС, с учетом его нагрузки, сжимаемости грунта и воздействия на фундамент, передаваемого от фундамента резервуара, учитывая, что погрешности измерений взаимодействуют с величинами, характеризующими положение фундамента (расчетными отметками или контрольными точками).

Если регистрируемые значения осадки близки к максимальной или предельной средней абсолютной величине осадки, то точность измерений будет выше и геодезические погрешности не должны влиять на регистрируемые результаты осадок и деформаций фундамента РВС.

Результаты

В работе [17] поднимались вопросы вычисления точности, необходимой для измерения смещений фундаментов зданий и сооружений, с учетом ничтожного влияния геодезических погрешностей на результаты фиксированных смещений. Однако указанный метод вычисления завышает критерии точности на ранних стадиях строительства резервуара и не в полной мере учитывает множество случайных факторов, которые могут повлиять на состояние оснований и фундаментов в процессе строительства и последующей эксплуатации сооружения.

Рассмотрим методику расчета требуемой точности измерений величин деформационных смещений с учетом условий как в период строительства, так и в период эксплуатации резервуара. Процессы выпучивания зданий и сооружений, в том числе и стальных резервуаров, подробно описаны нашими соотечественниками, что говорит о степени разработанности тематики, поэтому наша работа актуальна [18–23].

Влияние погрешностей геодезических измерений на результаты зафиксированных деформационных смещений зависят не только от точности измерений, но и от фактической величины деформационного сдвига.

Величина нагрузки, передаваемая от фундамента, и ее воздействие на него может быть выражена через коэффициент точности процесса деформационного смещения

$$T_{\Pi} = \frac{\delta_{\text{Н}}}{m_{\text{Ф}}}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{Н}}$ – допускаемое (предельное) значение относительной величины деформационного

смещения, предлагаемой (СП 22.13330.2011); $m_{\text{Ф}}$ – значение фактического деформационного смещения по результатам геодезических измерений.

Коэффициент T_{Π} позволяет определить ход технической операции возведения фундаментов и конструкций с учетом случайных факторов, влияющих на их состояние.

В зависимости от величины смещения (средней или максимальной) можно выделить и рассчитать критерии точности измерения величин деформационных смещений стальных резервуаров с учетом коэффициента точности относительного сдвига.

Предлагается для оценки точности и назначения допусков на геодезические измерения величин деформационных сдвигов применять следующую линейку коэффициентов при необходимой точности (предельных допустимых погрешностей измерения величины деформационного смещения $\delta_{\text{К}}$ и $\delta_{\text{Н}}$ – нормированный параметр предельной допустимой величины суммарного деформационного смещения):

$$T_{\Pi} = 1,0; \quad \delta_{\text{К}} = 0,45 \cdot \delta_{\text{Н}}; \quad (2)$$

$$T_{\Pi} = 1,25; \quad \delta_{\text{К}} = 0,50 \cdot \delta_{\text{Н}}; \quad (3)$$

$$T_{\Pi} = 1,5; \quad \delta_{\text{К}} = 0,55 \cdot \delta_{\text{Н}}; \quad (4)$$

$$T_{\Pi} = 1,645; \quad \delta_{\text{К}} = 0,61 \cdot \delta_{\text{Н}}; \quad (5)$$

$$T_{\Pi} = 2,0; \quad \delta_{\text{К}} = 0,9 \cdot \delta_{\text{Н}}; \quad (6)$$

$$T_{\Pi} = 2, -3,0; \quad \delta_{\text{К}} = \delta_{\text{Н}}. \quad (7)$$

Переходя от предельных погрешностей к среднеквадратическим с доверительными вероятностями $P = 0,997 / 0,99$, $P = 0,95$ и $P = 0,90$. Полученные значения среднеквадратических ошибок измерений величин деформационных смещений оснований и фундаментов $m_{\text{Г}}$ в процентном отношении от значений в пределах допустимого диапазона относительно деформационного смещения $\delta_{\text{Н}}$ приведены в табл. 1.

При разработке проекта производства работ показатель ответственности сооружения указывается по усмотрению заказчика или проектировщика.

Доверительную вероятность при установлении параметров точности геодезических измерений величин деформационных сдвигов оснований и фундаментов РВС следует принимать в соответствии с их классом ответственности.

Так, например, при измерении деформационного сдвига фундаментов резервуаров с показателями ответственности или надежности по назначению $\gamma_n = 1,1 - 1,2$ для вероятностей $P = 0,99 / 0,997$ ($\delta_{\text{К}} = 3m_{\text{К}}$), при $\gamma_n = 1,0$ с доверительной вероятностью $P = 0,95$ ($\delta_{\text{К}} = 2m_{\text{К}}$) и $\gamma_n = 0,8$ с доверительной вероятностью $P = 0,90$ ($\delta_{\text{К}} = 1,65m_{\text{К}}$).

Таблица 1

Значения среднеквадратических ошибок m_{Γ} (в процентном отношении) от значений в пределах допустимого диапазона δ_H

Показатель ответственности сооружения	Доверительная вероятность	m_{Γ} в % от δ_H при коэффициентах точности процесса протекания деформаций, T_{Π}					
		$T_{\Pi} = 2,5 - 3,0$	$T_{\Pi} = 2,0$	$T_{\Pi} = 1,645$	$T_{\Pi} = 1,5$	$T_{\Pi} = 1,25$	$T_{\Pi} = 1,0$
$\gamma_n = 1,1 - 1,2$	$P = 0,99$	33	30	20	18	17	15
$\gamma_n = 1,0$	$P = 0,95$	50	45	30	27	25	22
$\gamma_n = 0,8$	$P = 0,90$	61	55	37	33	30	27

Известно, что за строительный период, в процессе возведения зданий и сооружений на глинистых грунтах, происходит 50 % осадочных смещений. Если рассматривать песчаные грунты, они обладают большей сыпучестью, и осадочные смещения на них достигают 80 %. Следовательно, осадочные смещения в строительный период могут достигать величин, выраженных равенством $S_c = 0,8S$.

Тогда, в зависимости от значений зафиксированных величин деформационных сдвигов средних или максимальных отклонений фундаментов, можно использовать для реко-

мендации критериев точности (среднеквадратические ошибки, СКО) измерений смещений оснований и фундаментов РВС значения, приведенные в табл. 2.

Если для определения критериев точности измерений величин деформационных смещений принять вероятную величину выхода отклонения за границу поля допуска C (см. рисунок), равную 10 %, то в этом случае вероятность ошибочно принятого исходного результата не превысит 5 %, что соответствует доверительной вероятности $P = 0,95$.

Таблица 2

Значения СКО геодезических измерений деформационных смещений оснований и фундаментов РВС, m_{Φ}

Стадии возведения или эксплуатации	T_{Π} (коэффициент технологического процесса)	Значения зафиксированных осадок	m_{Φ} при доверительной вероятности	
			$P = 0,95$	$P = 0,997$
Возведение	$T_{\Pi} = 2,5 - 3,0$	$S_{\Phi} < 0,8S_H$	$0,50 \delta_H$	$0,33 \delta_H$
	$T_{\Pi} = 2,0$		$0,45 \delta_H$	$0,30 \delta_H$
	$T_{\Pi} = 1,645$		$0,30 \delta_H$	$0,20 \delta_H$
	$T_{\Pi} = 1,5$		$0,27 \delta_H$	$0,18 \delta_H$
	$T_{\Pi} = 1,25$		$0,25 \delta_H$	$0,17 \delta_H$
	$T_{\Pi} = 1,0$		$0,22 \delta_H$	$0,15 \delta_H$
Эксплуатация	$T_{\Pi} \geq 1,0$	$S_{\Phi} = 0,8S_H$	$0,22 \delta_H$	$0,15 \delta_H$
	$T_{\Pi} < 1,0$		$0,10 \delta_H$	$0,07 \delta_H$
	$T_{\Pi} \geq 1,5$	$S_{\Phi} \geq 0,8S_H$	$0,27 \delta_H$	$0,18 \delta_H$
	$1,5 > T_{\Pi} \geq 1,0$		$0,22 \delta_H$	$0,15 \delta_H$
	$T_{\Pi} < 1,0$		$0,10 \delta_H$	$0,07 \delta_H$
	Эксплуатация	$T_{\Pi} \geq 1,0$	$S_{\Phi} = S_H$	$0,22 \delta_H$
$T_{\Pi} < 1,0$		$0,10 \delta_H$		$0,07 \delta_H$
Эксплуатация	—	$S_{\Phi} > S_H$	$0,10 \delta_H$	$0,07 \delta_H$

Таким образом, методика расчета допустимых отклонений, учитывающая точность процесса протекания деформационных смещений, применима, если наблюдения за сдвигами выполняются на этапе первоначального строительства резервуаров и при последующей их эксплуатации. В том случае, когда

процесс протекания деформационного сдвига не изучен или недостаточно стабилен, предлагается методика расчета допустимых отклонений измерения величин деформационных смещений, основанная на применении метода с учетом обеспечения предельных показателей качества строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 58938-2020. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения. – Введ. 2020–07–28. – М. : Стандартинформ, 2020. – 10 с.
2. Столбов Ю. В., Столбов В. В. О нормировании точности контрольных измерений при монтаже строительных конструкций // *Промышленное строительство*. – 1978. – № 4. – С. 29–31.
3. Столбов Ю. В., Синюткина Т. П., Столбова С. Ю. Рекомендации по расчету и назначению технологических допусков при возведении сооружений // *Тез. докл. междунаро. науч.-техн. конф. «Автомобильные дороги Сибири»*. – Омск : СибАДИ, 1998. – С. 482–484.
4. Столбова С. Ю. Расчет технологических допусков и назначение точности монтажа строительных конструкций : учеб. пособие. – Омск : СибАДИ, 2006. – 108 с.
5. Столбов Ю. В., Столбова С. Ю., Пронина Л. А., Старовойтов И. Е. Расчет допусков на геодезические разбивочные работы с учетом точности технологических процессов при изысканиях и строительстве автомобильных дорог // *Вестник СибАДИ*. – 2015. – № 5 (45). – С. 87–92.
6. Горбулин Р. П., Уваров А. И. Нормирование точности геодезических измерений и строительномонтажных работ при возведении стальных резервуаров под нефтепродукты // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 19–26.
7. СП 22.13330.2011. «СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений» [Электронный ресурс] : утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России). – Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
8. СП 25.13330.2012. «СНиП 2.02.04-88*. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» [Электронный ресурс] : утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России). – Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
9. 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.
10. 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. – Novosibirsk : Siberian State Geodesy Academy, 2010. – 205 p.
11. 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*. – 2011. – Vol. 1 (1). – P. 58–63.
12. Ehigiator-Irughe R., Beshr A. A., Ehigiator M. O. Structural deformation analysis of cylindrical oil storage tank using geodetic observations // *Geo-Siberia 2010. VI International Scientific Conference : Collection of materials in 6 vol. (Novosibirsk, April 19–29, 2010)*. – Novosibirsk : SSGA, 2010. Vol. 1. – P. 38–43.
13. Seredovich V. A., Ehigiator-Irughe R., Ehigiator M. O., Oriakhi Henry. Deformation Prediction Using Exponential Polynomial Functions // *Geo-Siberia 2012. VIII International Scientific Congress : International Scientific Conference «Geodesy, Cartography, Geoinformation and Mine Surviving» : Collection of materials in 3 vol. (Novosibirsk, April 10–20, 2012)*. – Novosibirsk : SSGA, 2012. Vol. 1. – P. 38–43.
14. Vanatwerp R. L. Engineering and design: deformation monitoring and control surveying : Engineer manual. – USA, Washington DC : US Army Corps of Engineering, 1994. – 141 p.
15. Столбов Ю. В., Синюткина Т. П., Кокуленко С. Ю. Вероятностно-статистический метод расчета точности строительномонтажных и разбивочных работ при строительстве многоэтажных каркасных зданий // *Материалы междуна. науч.-практ. конф. «Город и транспорт»*. – Омск : СибАДИ, 1996. Ч. II. – С. 53–55.
16. 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.

17. 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.
18. Горбулин Р. П., Уваров А. И., Гарагуль А. С. Геодезический мониторинг деформаций стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов в условиях многолетнемерзлых грунтов // Сб. материалов II региональной науч.-практич. студ. конф. – Омск : Омский государственный аграрный университет. – 2020. – С. 25–31.
19. Гуляев Ю. П. Анализ подходов к обоснованию точности геодезических наблюдений за деформационными процессами // Геодезия и картография. – 2007. – № 8. – С. 11–16.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.

Об авторах

Роман Павлович Горбулин – ассистент кафедры геодезии и дистанционного зондирования.

Юрий Викторович Столбов – доктор технических наук, профессор кафедры геодезии и дистанционного зондирования.

Лилия Анатольевна Пронина – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и инженерных изысканий в строительстве.

Получено 23.02.2023

© Р. П. Горбулин, Ю. В. Столбов, Л. А. Пронина, 2023

Appointment of tolerances for geodetic measurements of deformations of steel tanks, taking into account the flow process and their responsibility for the purpose

R. P. Gorbulin^{1}, Y. V. Stolbov¹, L. A. Pronina²*

¹Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russian Federation

²Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russian Federation

* e-mail: rp.gorbulin@omgau.org

Abstract. The purpose of the publication is to analyze methods for calculating the accuracy of geodetic work in the construction industry of low-capacity structures, which can be actively used in the construction and operation of steel vertical tanks. For this purpose, a calculation methodology is considered that takes into account operational technologies for the construction of tanks and their responsibilities for their intended purpose. The results obtained show that in order to ensure stable operation of reservoirs during their construction, it is necessary to carry out geodetic work according to standard accuracy criteria, taking into account the degree of responsibility of structures and hazard risks. As a result, based on the achieved level of accuracy of construction production technology, regulatory criteria for the accuracy of control measurements were determined, taking into account the technological operations of construction production. The method of combining root-mean-square measurement errors and values of deformation displacements of bases and foundations of low-capacity structures is considered on the basis of the principles of probability theory. The results obtained show that when calculating the reliability characteristics of bases and foundations

of tanks, it is necessary to take into account, as the main factor, when assigning standardized indicators of the accuracy of geodetic measurements of deformation displacements and accept their maximum permissible deviations. In addition, in conditions of long-term distribution of frozen soils, temperature fluctuations and geological parameters of the surface should be taken into account. The values of the root-mean-square errors of geodetic measurements of the values of deformation displacements of the bases and foundations of vertical structures at the stages of construction production are given.

Keywords: accuracy parameters, tanks, safety factors, geodetic measurements, technological process, deformation displacements, responsibility indicators, geometric parameters, class of structure

REFERENCES

1. Standards Russian Federation. (2000). GOST R 58938-2020. A system for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. The main provisions. Introduction. 2020-07-28. Moscow: Standartinform Publ., 10 p. [in Russian].
2. Stolbov, Yu. V., & Stolbov V. V. (1978). About standardization of control measurements accuracy during installation of building structures. *Promyshlennoe stroitel'stvo [Industrial Construction]*, 4, 29–31 [in Russian].
3. Stolbov, Yu. V., Sinyutina, T. P., & Stolbova, S. Yu. (1998). Recommendations for the calculation and assignment of technological tolerances in the construction of structures. In *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Avtomobil'nye dorogi Sibiri [Abstracts of Reports of the International Scientific and Technical Conference: Highways of Siberia]* (pp. 482–484). Omsk: SibADI Publ. [in Russian].
4. Stolbova, S. Yu. (2006). *Raschet tekhnologicheskikh dopuskov i naznachenie tochnosti montazha stroitel'nykh konstruksiy [Calculation of technological tolerances and the purpose of the accuracy of installation of building structures]*. Omsk: SibADI Publ., 108 p. [in Russian].
5. Stolbov, Yu. V., Stolbova, S. Yu., Pronina, L. A., & Starovoitov, I. E. (2015). Calculation of tolerances for geodetic alignment work taking into account the accuracy of technological processes in the survey and construction of highways. *Vestnik SibADI [Bulletin of SibADI]*, 5(45), 87–92 [in Russian].
6. Gorbulin, R. P., & Uvarov, A. I. (2020). Standardization of the accuracy of geodetic measurements and construction and installation works during the construction of steel tanks for oil products. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), 19–26 [in Russian].
7. Code of Practice. (2011). SP 22.13330.2011 "SNIП 2.02.01-83* Foundations of buildings and structures". Approved. by order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation (Ministry of Regional Development of Russia). Retrieved from Garant online database [in Russian].
8. Code of Practice. (2012). SP 25.13330.2012 "SNIП 2.02.04-88* Bases and foundations on permafrost soils". Approved. by order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation (Ministry of Regional Development of Russia). Retrieved from Garant online database [in Russian].
9. Otstavnov, V. A., Smirnov, A. F., Raizer, 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 [Building Mechanics and Calculation of Structures]*, 1, 1–5 [in Russian].
10. 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*. Novosibirsk: Siberian State Geodesy Academy Publ., 205 p. [in Russian].
11. 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*, 1(1), 58–63.
12. Ehigiator-Irughe, R., Beshr, A. A., & Ehigiator, M. O. (2010). Structural deformation analysis of cylindrical oil storage tank using geodetic observations. In *Geo-Siberia 2010: Vol. 1* (pp. 38–43). Novosibirsk: SSGA Publ.
13. Seredovich, V. A., Ehigiator-Irughe, R., Ehigiator, M. O., & Oriakhi Henry (2012). Deformation Prediction Using Exponential Polynomial Functions. In *Geo-Siberia 2012: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Cartography, Geoinformation and Mine Surviving* (pp. 38–43). Novosibirsk: SSGA Publ.
14. Vanatwerp, R. L. (1994). *Engineering and design: deformation monitoring and control surveying*. USA, Washington DC: US Army Corps of Engineering Publ., 141 p.

15. Stolbov, Yu. V., Sinyutina, T. P., & Kokulenko, S. Yu. (1996). Probabilistic-statistical method for calculating the accuracy of construction and installation and layout 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 Conference: Part II. City and Transport]* (pp. 53–55). Omsk: SibADI Publ. [in Russian].
16. 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 Monitoring of Lands]*, 10(165), 52–59 [in Russian].
17. Gorbulin, R. P., Uvarov, A. I., & Pronina, L. A. (2018). Geodetic methods for monitoring reservoir deformations. In *Sbornik materialov XXIV nauchno-tekhnicheskoy studencheskoy konferentsii [Proceedings of XXIV Scientific and Technical Student Conference]* (pp. 41–47). Omsk: Omsk State Agrarian University Publ. [in Russian].
18. Gorbulin, R. P., Uvarov, A. I., & Garagul, A. S. (2020). Geodetic monitoring of deformations of steel tanks for storing petroleum products in permafrost conditions. In *Sbornik materialov II regional'noy nauchno-prakticheskoy studencheskoy konferentsii [Proceedings of II Regional Scientific and Practical Student Conference Omsk]* (pp. 25–31). Omsk: Omsk State Agrarian University. Publ. [in Russian].
19. 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].
20. 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 khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya [Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbon Raw Materials]*, 2, 31–40 [in Russian].
21. Khrisanenkova, T. M. (2015). Research of deformations of the walls of cylindrical tanks. In *Sbornik materialov konferentsii: Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Proceedings of Conference: Actual Directions of Scientific Research of the XXI century: Theory and Practice]* (pp. 156–159). Voronezh: VGLTU im. G. F. Morozova Publ. [in Russian].
22. Burkov, P. V., Burkova, S. P., Timofeev, V. Yu., Aleshkina, A. A., & Ashcheulova, A. A. (2013). Investigation of the condition of the bottom of a vertical steel tank, analysis of methods for diagnosing its condition and identifying the causes of its deformation. *Vestnik KuzGTU [Bulletin of KuzGTU]*, 4, 79–81 [in Russian].
23. Mogilny, S. G., Sholomitsky, A. A., & Frolov, I. S. (2013). Geodetic monitoring and alignment of metallurgical equipment. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiy [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 132–143). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

Author details

Roman P. Gorbulin – Assistant, Department of Geodesy and Remote Sensing.

Yuri V. Stolbov – D. Sc., Professor, Department of Geodesy and Remote Sensing.

Liliya A. Pronina – Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Engineering Surveys in Construction.

Received 23.02.2023

© R. P. Gorbulin, Y. V. Stolbov, L. A. Pronina, 2023