



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПРИКЛАДНОЙ МЕТРОЛОГИИ – РОСТЕСТ»
(ФБУ «НИЦ ПМ – РОСТЕСТ»)**

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора



А.Д. Меньшиков

» 07 2025 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕЗЕРВУАР ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ СТАЛЬНОЙ РГС-15

Методика поверки

РТ-МП-992-01-2025

г. Москва

2025 г.

1. Общие положения

1.1. Настоящая методика поверки распространяется на резервуар горизонтальный стальной РГС-15 (далее – резервуар) и устанавливает порядок проведения его первичной и периодической поверки методом сканирования внутренней поверхности с применением лазерной координатно-сканирующей системы (далее - сканера).

1.2. При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единицы объема жидкости в соответствии с частью 3 государственной поверочной схемы, утвержденной приказом Росстандарта от 26 сентября 2022 г. № 2356, подтверждающей прослеживаемость к государственному первичному специальному эталону ГЭТ 63-2019.

1.3. При определении метрологических характеристик поверяемого резервуара используется метод косвенных измерений.

2. Перечень операций поверки средства измерений

При проведении первичной и периодической поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер пункта МП
	первичной поверке	периодической поверке	
1. Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
2. Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	да	да	8.1
3. Опробование (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	да	да	8.5
4. Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	9

3. Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия влияющих факторов:

- температура окружающего воздуха от плюс 5 °С до плюс 35 °С;
- относительная влажность не более 90 %;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа;
- состояние погоды - без осадков;
- скорость ветра не более 10 м/с;
- освещенность внутренней полости резервуара не менее 200 лк;
- резервуар должен быть освобожден от хранящегося в нем нефтепродукта;
- внутренняя поверхность резервуара должна быть очищена до состояния, позволяющего проводить измерения.

4. Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1. Измерения проводит группа лиц не менее двух человек.

4.2. К проведению поверки допускаются лица имеющие опыт работы в области измерений параметров потока, расхода, уровня и объема веществ, изучившие настоящую методику поверки, эксплуатационную документацию на резервуар и средства поверки, прошедшие инструктаж по охране труда и противопожарной безопасности.

5. Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1. При проведении поверки используют средства поверки, указанные в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Основные средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средство измерений температуры окружающего воздуха в диапазоне измерений от минус 10 °С до 40 °С, с абсолютной погрешностью измерений $\pm 1,0$ °С	Приборы комбинированные Testo 608-H1, Testo 608-H2, Testo 610, Testo 622, Testo 623, модификации Testo 622, per. № 53505-13
	Средство измерений относительной влажности окружающего воздуха, с диапазоном измерений до 95 %, с абсолютной погрешностью измерений ± 3 %	Приборы комбинированные Testo 608-H1, Testo 608-H2, Testo 610, Testo 622, Testo 623, модификации Testo 622, per. № 53505-13
	Средство измерений атмосферного давления с диапазоном измерений от 80 до 110 кПа, с абсолютной погрешностью измерений $\pm 0,5$ кПа	Приборы комбинированные Testo 608-H1, Testo 608-H2, Testo 610, Testo 622, Testo 623, модификации Testo 622, per. № 53505-13
	Средство измерений скорости ветра с диапазоном измерений до 20 м/с, с абсолютной погрешностью измерений $\pm (0,1 + 0,05 \cdot V)$ м/с, где (V – измеряемая скорость ветра)	Измерители комбинированные Testo 405, Testo 416, Testo 417, Testo 425, модификации Testo-425, per. № 17273-11
	Средство измерений освещенности с диапазоном измерений свыше 190 лк, с допускаемой суммарной относительной погрешностью ± 8 %	Люксметры Testo 540 и Testo 545, модификации Testo 545, per. №. 47989-11.
	Средство измерений массовой концентрации углеводородов нефти в диапазоне измерений от 50 мг/м ³ до 2000 мг/м ³ , с пределами допускаемой относительной погрешности ± 25 %	Анализатор-течеискатель АНТ-3М, per. № 39982-14

п. 9 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Рабочий эталон или рабочее средство измерений в соответствии с Государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений, утвержденной приказом Росстандарта от 07.06.2024 г. № 1374, применяемое в качестве заимствованного эталона 3-й части Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости, утвержденной приказом Росстандарта от 26 сентября 2022 г. №2356	Сканер лазерный серии Imager 5010, рег. № 67609-17
	Рабочий эталон или средство измерений длины в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений длины, утвержденной приказом Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2840, применяемое в качестве заимствованного эталона 3-й части Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости, утвержденной приказом Росстандарта от 26 сентября 2022 г. №2356	Рулетка измерительная металлическая РНГ, рег. №60606-15
	Средство измерений температуры неконтактным методом (пирометр) с диапазоном измерений температуры от минус 10 °С до плюс 65 °С, с пределами допускаемой абсолютной погрешности ± 2 °С	Термометры инфракрасные Testo 805, Testo 826-T1, Testo 826-T2, Testo 826-T3, Testo 826-T4, Testo 830-T1, Testo 830-T2, модификации Testo 830-T1, рег. № 48507-11
Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, поверенные средства измерений утвержденного типа, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

Таблица 3 – Вспомогательные средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Наименование
п. 9 Определение метрологических характеристик	Сферические марки (не менее 3 шт.), входящие в комплект сканера. Сервисное программное обеспечение (ПО) сканера. Программный комплекс Расходомер ИСО с модулем «Градуировочные таблицы резервуаров и танков». Переносной компьютер. Чертилка, маркер, мел. Переносные светильники (прожекторы) во взрывозащищенном исполнении.

6. Требования по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1. Допуск к производству работ осуществляется по наряду-допуску организации - владельца резервуара.

6.2. При проведении поверки необходимо соблюдать:

- общие правила техники безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.003;
- требования действующих инструкций по охране труда и пожарной безопасности;
- указания по технике безопасности, приведённые в эксплуатационной документации на средства поверки.

6.3. Лица, выполняющие измерения при поверке резервуара, должны использовать спецобувь по ГОСТ 12.4.137, строительную каску по ГОСТ 12.4.087 и спецодежду: женщины - комбинезон по ГОСТ 12.4.099, мужчины - комбинезон по ГОСТ 12.4.100.

6.4. Перед началом поверки резервуара проверяют:

- исправность лестницы и перил;
- исправность заземления резервуара.

6.5. Избыточное давление внутри резервуара должно быть равно нулю.

6.6. Содержание вредных паров и газов в воздухе вблизи резервуара на высоте 2000 мм не должно превышать санитарных норм, установленных ГОСТ 12.1.005:

- 300 мг/м³ - если резервуар использовался для хранения дизельного топлива, керосина или масла моторного;
- 100 мг/м³ - если резервуар использовался для хранения бензина.

6.7. Для освещения в темное время суток применяют светильники во взрывозащищенном исполнении.

6.8. Проведение измерений параметров резервуара во время грозы категорически запрещается.

6.9. В процессе измерений параметров резервуара обеспечивают двух или трехкратный обмен воздуха внутри резервуара. При этом через каждый час работы проводят анализ воздуха на содержание вредных паров и газов.

6.10. Продолжительность работы внутри резервуара не более четырех часов, после чего перед продолжением работы делают перерыв на один час.

7. Внешний осмотр средства измерений

7.1. При внешнем осмотре проверить:

- 7.1.1. Соответствие конструкции резервуара паспорту.
- 7.1.2. Отсутствие коррозионных повреждений, трещин, деформаций стенок и днищ резервуара, загрязнений внутренней поверхности резервуара, препятствующих проведению поверки.

7.1.3. Отсутствие остатков нефтепродукта во внутреннем объеме резервуара.

7.2. Резервуар, не соответствующий перечисленным выше требованиям, к дальнейшей поверке не допускается до устранения причин несоответствия.

8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1. Изучить паспорт на резервуар.

8.2. Провести контроль условий поверки: измерить температуру окружающего воздуха, относительную влажность, атмосферное давление, скорость ветра, освещенность внутренней

полости резервуара и содержание вредных паров и газов в воздухе вблизи резервуара средствами измерений, указанными в таблице 2. Результаты зафиксировать в протоколе поверки. Условия проведения поверки должны соответствовать требованиям раздела 3 настоящей методики. При несоответствии условий поверки требованиям раздела 3 методики поверку прекращают до установления требуемых условий.

8.3. Подготовить рабочие эталоны и вспомогательные средства согласно эксплуатационной документации на них.

8.4. Получить следующие документы, выданные соответствующими службами владельца резервуара: наряд-допуск на проведение работ с повышенной опасностью.

8.5. Опробование резервуара проводят одновременно с определением метрологических характеристик резервуара.

9. Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

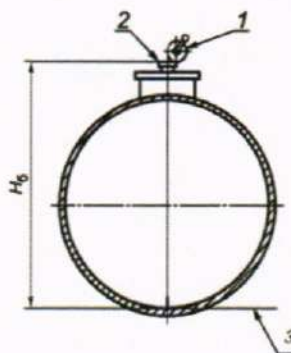
9.1. Измерить базовую высоту резервуара.

Базовую высоту резервуара H_6 измерить рулеткой с грузом через измерительный люк в точке, расположенной на плоскости, проходящей через верхнюю образующую и продольную ось резервуара.

Отсчет проводить от риски направляющей планки на измерительном люке или от верхнего среза измерительного люка.

9.2. Измерение проводят не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно быть более 2 мм. Если расхождение между результатами двух измерений превышает 2 мм, проводят дополнительные измерения. Результаты двух измерений, расхождение между которыми не превышает 2 мм, вносят в протокол.

9.3. Отметить мелом точку касания дна груза рулетки и установить в ней сферическую марку (рис. 1).



1 - измерительная рулетка с грузом; 2 - фланец измерительного люка; 3 - место установки сферической марки

Рисунок 1 - Место установки сферической марки

9.4. Измерить температуру стенки резервуара с применением инфракрасного термометра. Измерение температуры стенки резервуара проводят на четырех равноудаленных образующих стенки резервуара в первом, среднем, последнем поясах. Значение температуры стенки принимают как среднее арифметическое значение измеренных значений.

9.5. Выполнить сканирование внутренней полости резервуара.

9.5.1. Подготовить сканер к работе в соответствии с требованиями эксплуатационной документации

9.5.2. В сервисном ПО сканера сформировать файл проекта записи данных.

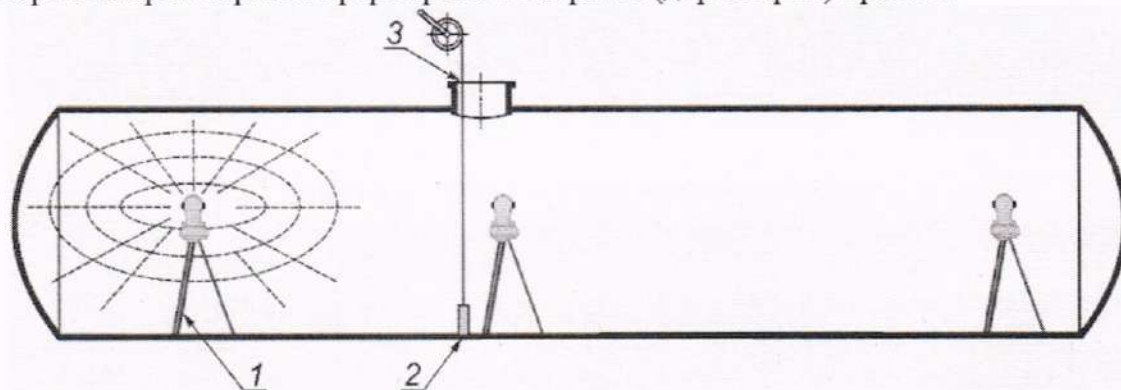
9.5.3. Сканер горизонтировать с применением трегера, с дальнейшим контролем электронным встроенным уровнем (при наличии).

9.5.4. Определить необходимое число станций сканирования и места их расположения, обеспечивающие исключение непросканированного пространства (теней).

9.5.5. Сканирование проводить последовательно с каждой станции (рис.2) в режиме кругового обзора (360°). Дискретность сканирования установить в пределах от 3 до 5 мм.

9.5.6. Операции сканирования и взаимной привязки станций проводить в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на сканер.

9.5.7. Результаты измерений автоматически фиксируются и записываются в памяти процессора сканера в заранее сформированном файле (директории) проекта.



1 - станция сканирования; 2 - плоскость начала отсчета;
3 - точка измерения базовой высоты

Рисунок 2 - Схема сканирования внутренней полости резервуара

9.6. Обработка результатов измерений

9.6.1. Произвести экспортирование проекта сканирования из памяти сканера в персональный компьютер.

9.6.2. Провести предварительную обработку проекта результатов измерений, ориентирование и объединение сканов с разных станций сканирования, задание точки начала отсчета и экспортирование файла облака точек с помощью специализированного программного обеспечения сканера. В качестве точки начала отсчета задают точку касания дна резервуара грузом рулетки. Обработку результатов измерений провести в соответствии с приложением А к настоящей методике поверки.

9.7. Составление градуировочной таблицы резервуара

9.7.1. Градуировочную таблицу составить с шагом $\Delta H = 1$ см, начиная с исходного уровня (уровня, соответствующего точке касания днища резервуара грузом рулетки) до предельного уровня $H_{пр}$ (уровня, соответствующего нижнему краю горловины резервуара).

9.7.2. Вместимость резервуара, соответствующую уровню жидкости H , V_H , вычислить при приведении к стандартной температуре 20°C

На каждом уровне, начиная с высоты "мертвой" полости резервуара $H_{мп}$, вычислить стандартную неопределенность вместимости резервуара в соответствии с приложением Б к настоящей методике поверки.

9.7.3. В пределах каждого сантиметрового интервала уровня налива вычислить

коэффициент вместимости, равный вместимости, приходящейся на 1 мм высоты наполнения.

9.7.4. При составлении градуировочной таблицы значения вместимости округляют до 1 дм³.

9.8. Обработка результатов измерений, расчёт и составление градуировочной таблицы резервуара на основе полученного файла облака точек выполняется с применением специализированного программного обеспечения Программный комплекс Расходомер ИСО с модулем «Градуировочные таблицы резервуаров и танков», реализующего требования приложений А - В

9.9. Предъявленный в поверку резервуар признают соответствующим метрологическим требованиям, а результаты поверки – положительными, если относительная погрешность определения вместимости резервуара или соответствующая ей относительная расширенная неопределенность вместимости, при коэффициента отхвата $k=2$, не превышает $\pm 0,25\%$.

9.10. В случае несоответствия резервуара критериям, изложенным в п. 9.8, резервуар признается не соответствующим метрологическим требованиям, а результаты поверки считают отрицательными.

10. Оформление результатов поверки

10.1. Результаты поверки резервуара оформляют протоколом в произвольной форме с указанием следующих сведений:

- номер и дата протокола;
- наименование, тип и заводской номер поверяемого резервуара;
- обозначение документа, по которому выполнена поверка;
- наименование, тип и заводские (серийные) номера применяемых при поверке средства измерений;
- условия проведения поверки;
- фамилия лица, проводившего поверку;
- результаты определения метрологических характеристик.

10.2. Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

10.3. Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений выдаётся по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его в поверку. Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений должны быть оформлены в соответствии с требованиями действующих правовых нормативных документов.

10.4. При положительных результатах поверки на резервуар оформляют градуировочную таблицу с протоколом поверки (оригинал протокола прикладывают к первому экземпляру градуировочной таблицы). Градуировочные таблицы утверждает руководитель организации, проводившей поверку резервуара. Знак поверки наносят на свидетельство о поверке и градуировочные таблицы.

10.5. В целях защиты от непреднамеренного искажения результатов измерений, ежегодно в течение межповерочного интервала, производят измерение базовой высоты резервуара в соответствии с приложением Г к настоящей методике поверки.

Инженер по метрологии I категории



А.В. Андреев

Приложение А
(обязательное)

Алгоритм обработки результатов измерений при применении сканера и функциональные требования к программному обеспечению

А.1 Функциональные требования к ПО при применении сканера приведены на рисунке А.1.

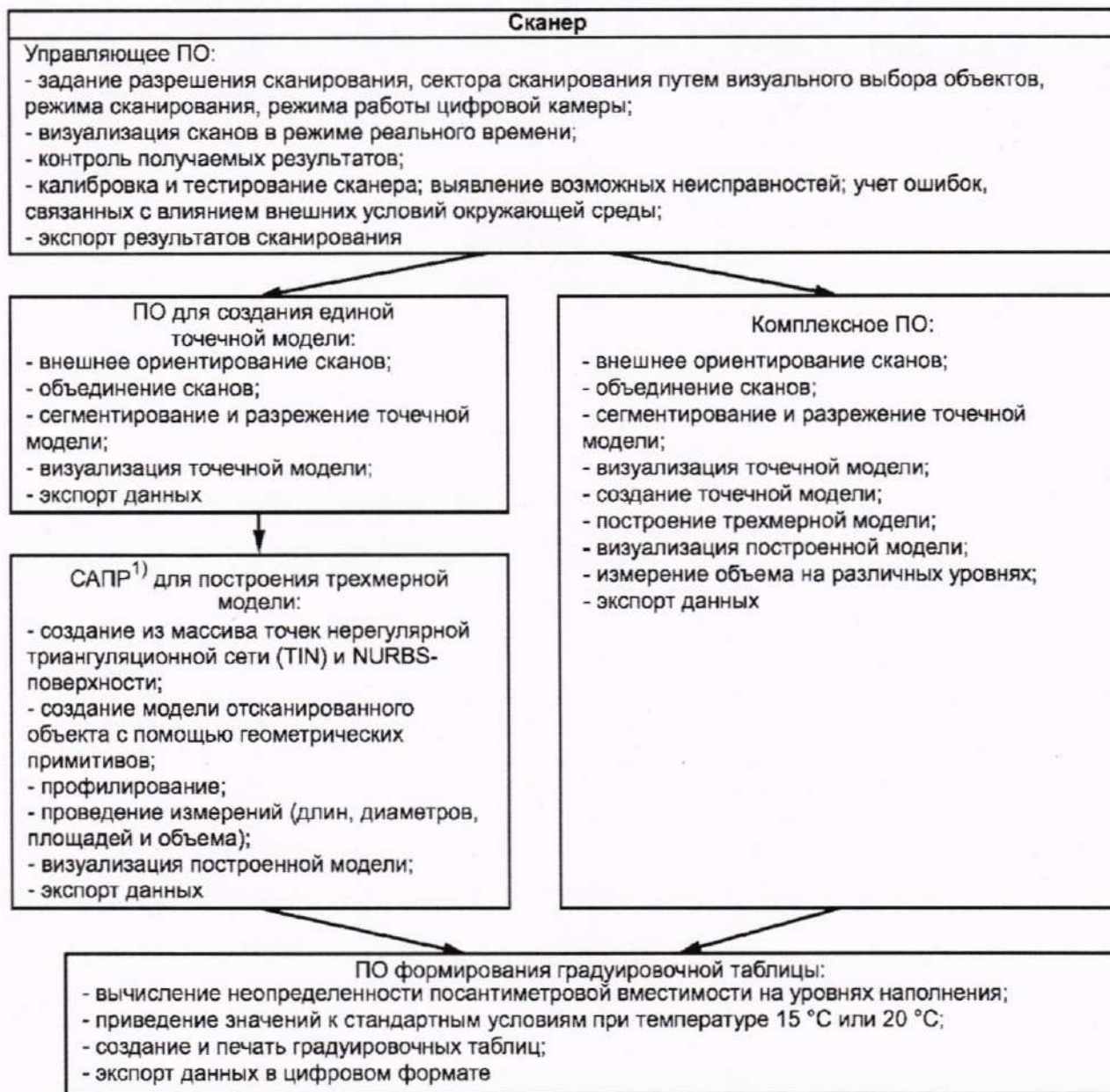


Рисунок А.1 - Алгоритм обработки результатов измерений

Примечание 1: САПР - Система автоматизированного проектирования.

А.2 Основные операции обработки результатов при построении трехмерной модели САПР с применением сканера приведены в таблице А.1.

Таблица А.1

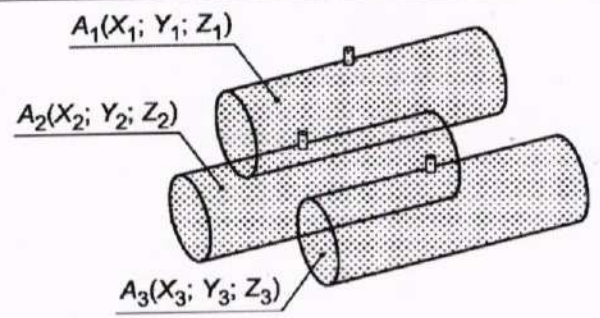
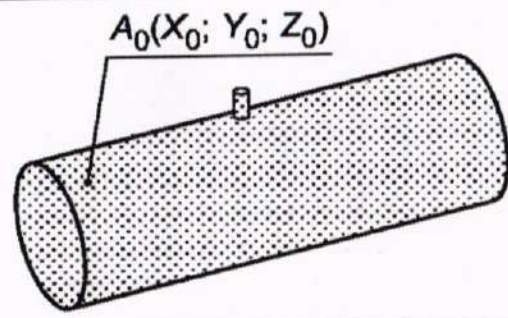
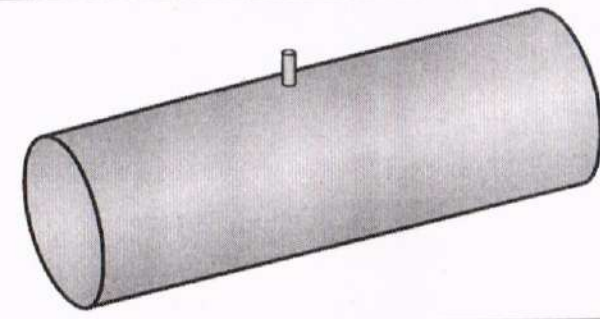
Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 1: - внешнее ориентирование сканов; - объединение сканов	ПО для создания единой точечной модели	
Этап 2: - сегментирование и разрежение точечной модели; - визуализация точечной модели	ПО для создания единой точечной модели	
Этап 3 Создание из массива точек нерегулярной триангуляционной сети (TIN) и NURBS-поверхности	ПО построения трехмерной модели/3D-моделирование	

Таблица А.1 (продолжение)

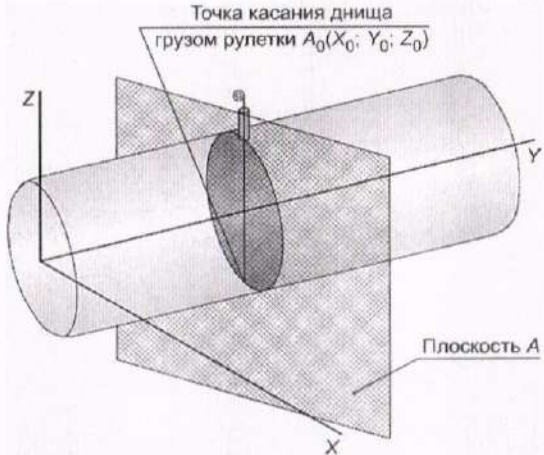
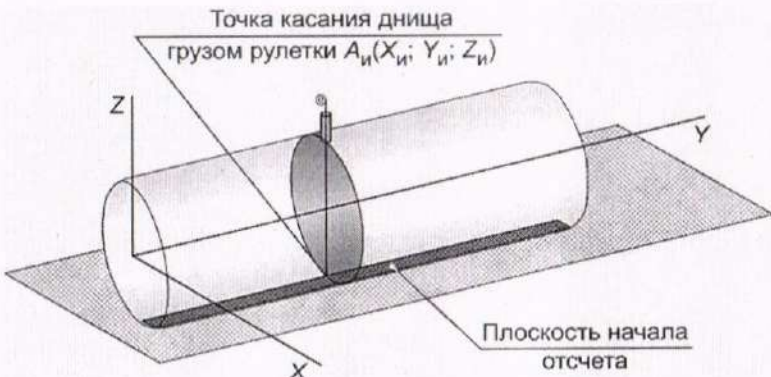
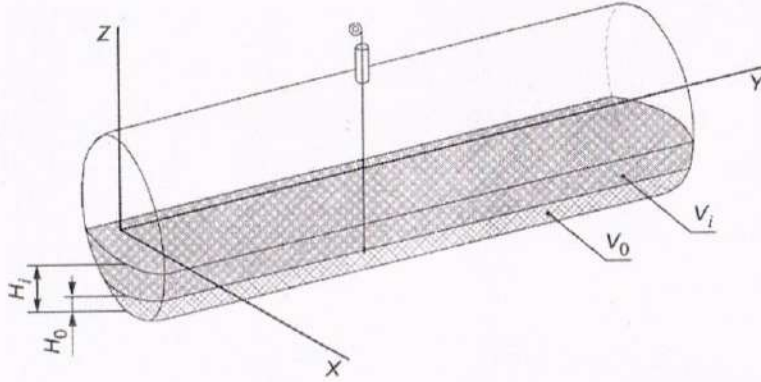
Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 4: - построение плоскости А, проходящей через точку касания стенки резервуара грузом рулетки по нормали к продольной оси резервуара, - определение координаты точки касания стенки грузом рулетки $A_{и}(X_{и}; Y_{и}; Z_{и})$	ПО построения трехмерной модели/3D-моделирование	 Точка касания дна грузом рулетки $A_0(X_0; Y_0; Z_0)$ Плоскость А
Этап 5 Построение горизонтальной плоскости начала отсчета, проходящей через точку касания стенки резервуара грузом рулетки	ПО построения трехмерной модели/3D-моделирование	 Точка касания дна грузом рулетки $A_{и}(X_{и}; Y_{и}; Z_{и})$ Плоскость начала отсчета

Таблица А.1 (продолжение)

Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 6: - построение горизонтальных секущих плоскостей с шагом 10 мм (1 см) начиная от плоскости начала отсчета; - вычисления объемов, ограниченных нижней образующей резервуара и секущими плоскостями	ПО построения трехмерной модели/3D моделирование/секущая плоскость/вычисление объема	
Этап 7 Вычисление неопределенности вместимости на уровнях наполнения	Формула (Б.39)	Значения неопределенности посантиметровой вместимости резервуара
Этап 8 Приведение посантиметровой вместимости к стандартной температуре 20 °С или 15 °С	Формулы (В.2) или (В.3)	Значение поправки от теплового расширения стенок к вместимости при стандартной температуре
Этап 9 Формирование градуировочной таблицы и протокола измерений	ПО формирования градуировочной таблицы	Оформленная градуировочная таблица с протоколом измерений

Приложение Б (рекомендуемое)

Оценка неопределенности вместимости резервуара при обработке результатов измерений программным обеспечением построения трехмерной модели при применении сканера

Б.1 Неопределенность вместимости резервуара вычисляют по результатам оценки неопределенностей посантиметровых вместимостей объемов V_j , ограниченных нижним и верхним сечениями на высоте уровня налитой жидкости h_i (рисунок Б.1).

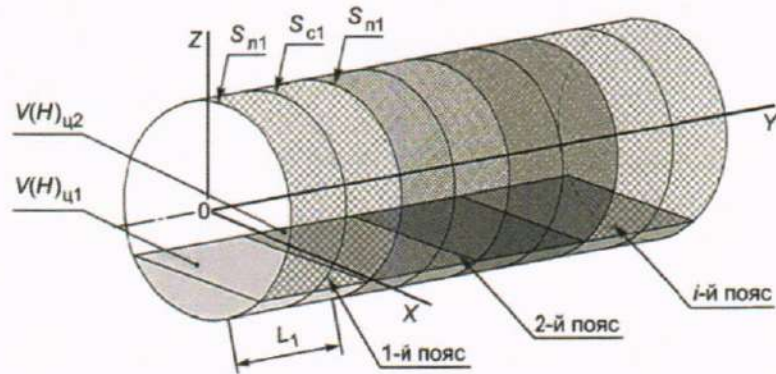


Рисунок Б.1 - Схема измерений объема i -го пояса на уровне H

Вычисления начинают с высоты "мертвой" полости $H_{МП}$ до предельного уровня наполнения. Высоту объема V_j принимают равной 10 мм.

И.2 Объем резервуара при уровне наполнения H (рисунок Б.1) вычисляют по формуле

$$V(H) = \sum_{i=1}^n V(H)_{цi}, \quad (Б.1)$$

где $V(H)_{цi}$ - объем i -го пояса на уровне H , m^3 ;

n - число поясов резервуара.

Объем i -го пояса $V(H)_{цi}$ на уровне H вычисляют по формуле

$$V(H)_{цi} = L_i \cdot \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 S(H)_{цi.k}, \quad (Б.2)$$

где L_i - длина i -го пояса, мм;

$S(H)_{цi.k}$ - площадь i -го пояса в левом, среднем, правом сечениях, mm^2 ;

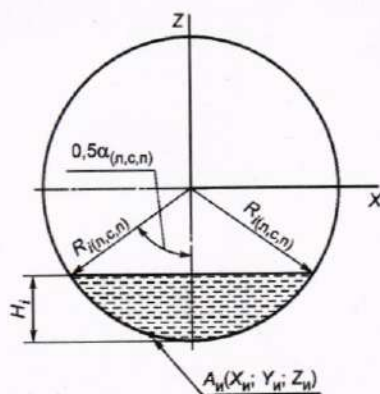
k - левое, среднее, правое сечения.

Б.3 Площадь i -го пояса $S(H)_{цi.k}$ на уровне H_i в левом, среднем, правом сечениях (рисунок Б.2) вычисляют по формуле

$$S(H)_{цi.k} = \frac{1}{2} \left(R_{i(л,с,п)} \right)^2 \cdot \left(\alpha_{(л,с,п)} - \sin \varphi \right), \quad (Б.3)$$

где $R_{i(л,с,п)}$ - радиус вписанной окружности i -го пояса в левом, среднем, правом сечениях, мм;

$\alpha_{(л,с,п)}$ - вертикальный угол между центром и плоскостью уровня, град.



H_i - уровень жидкости в i -м поясе; $A_n(X_n; Y_n; Z_n)$ - координаты точки касания стенки грузом рулетки

Рисунок Б.2 - Схема параметров площади i -го пояса $S(H)_{ш.к}$ на уровне H_i в левом, среднем, правом сечениях (л, с, п)

Угол φ вычисляют по формуле

$$\varphi = 2 \arccos(1 - z^*), \quad (\text{Б.4})$$

$$\text{где } z^* = \frac{H_i}{R_{i(л,с,п)}}.$$

Б.4 Неопределенность вместимости резервуара $V(H)$ при уровне наполнения резервуара H , вычисляют по результатам вычисления неопределенностей площадей поперечных сечений поясов.

Площадь i -го пояса в сечении (левое, среднее, правое) вычисляют как сумму площадей секторов, образованных радиус-векторами (далее - радиус) $r_i; r_{i+1}$ и углом $\Delta\varphi_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$.

Ввиду того, что сплайн-кривая строится по узловым точкам, она является аппроксимированной линией по заданному методу интерполяции (рисунок Б.3) и вносит вклад в неопределенность (метода) построения сечения.

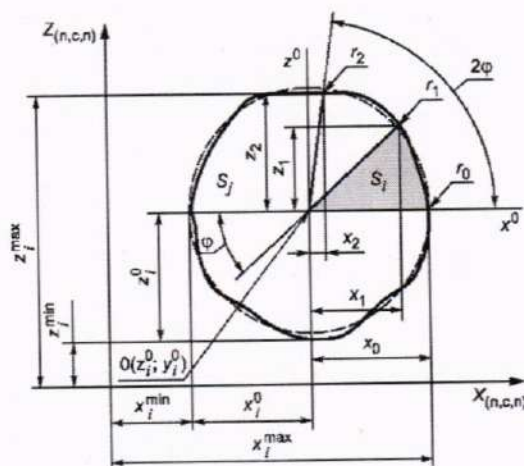


Рисунок Б.3 - Схема параметров i -го сечения

Оценку неопределенности метода проводят вычислением стандартной неопределенности площадей S_j в следующей последовательности.

Б.4.1 В заданном сечении i -го пояса на координате y_i формируют систему координат с началом в точке $0(z_i^0; x_i^0)$, вычисляемой по формулам:

$$z_i^0 = \frac{z_i^{\max} - z_i^{\min}}{2}; \quad x_i^0 = \frac{x_i^{\max} - x_i^{\min}}{2}, \quad (\text{Б.5})$$

где $z_i^{\max}$, $z_i^{\min}$, $x_i^{\max}$, $x_i^{\min}$ - максимальные и минимальные значения по осям Z и X соответственно, на координате y_i , мм.

Б.4.2 Вычисляют координаты 12 радиусов по оси X .

Координаты z_i ; x_i по осям Z и X i -го радиуса r_i вычисляют в следующей последовательности (рисунок И.3).

Б.4.2.1 Координату нулевого радиуса r_0 по оси X вычисляют по формуле

$$r_0 = x_0 = x_{\max} - x^0, \quad (\text{Б.6})$$

где $x_{\max}$ - максимальное значение по оси X , на координате y_i , мм;

x^0 - координата начала системы координат по оси X , вычисляемая по формуле (Б.5), мм.

Примечание - Индекс " i " опущен.

Б.4.2.2 Координату по оси X (далее - координата) 1-го радиуса r_1 вычисляют по формуле

$$x_1 = r_0 \cdot \cos(\varphi), \quad (\text{Б.7})$$

где r_0 - координата по оси X нулевого радиуса r_0 , мм;

φ - угол, значение которого принимают равным 30° .

Б.4.2.3 Координату 2-го радиуса r_2 вычисляют по формуле

$$x_2 = r_0 \cdot \cos(2\varphi), \quad (\text{Б.8})$$

Б.4.2.4 Координату i -го радиуса r_i вычисляют по формуле

$$x_i = r_0 \cdot \cos(i \cdot \varphi), \quad (\text{Б.9})$$

где i - номер радиуса; выбирают из ряда: 0, 1, 2, ..., 12.

Б.4.2.5 В массиве данных файла объединенного "сшитого" облака точек по полученным значениям координат радиусов ($r_0, r_1, \dots, r_s$) на оси X ($x_0, x_1, \dots, x_s$) выбирают значения координат по оси Z ($z_0, z'_1, \dots, z'_{12}$).

Значения координат i -го радиуса r_i , мм, на оси Z , приведенные к началу системы координат вычисляют по формуле

$$z_i = z'_i - z^0, \quad (\text{Б.10})$$

где z^0 - значение координаты начала системы координат $0(z_i^0; y_i^0)$ на оси Z , вычисляемое по

формуле (Б.5), мм, соответственно.

Б.4.2.6 Значение длины i -го радиуса r_i , мм, в сечении вычисляют по формуле

$$r_i = \sqrt{(x_i)^2 + (z_i)^2}, \quad (\text{Б.11})$$

Б.4.2.7 Площадь сечения S_j , м^2 , вычисляют по формуле

$$S_j = 10^{-6} \cdot \sum_{i=0}^{12} \left[\frac{\pi \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi_i)}{180} (r_{i+1} + r_i)^2 \right], \quad (\text{Б.12})$$

где r_i, r_{i+1} - длины радиусов i -го сектора сечения пояса, вычисляемые по формуле (Б.11), мм;

φ_i, φ_{i+1} - значения углов, отсчитываемые от оси X до радиусов r_i, r_{i+1} , град.

Уточненное значение угла φ_i вычисляют по формуле

$$\varphi_i = \arctg \left(\frac{z_i}{x_i} \right), \quad (\text{Б.13})$$

Б.5 Следующий этап заключается в вычислении площади сечения со смещением координаты нулевого радиуса.

Операции выполняют в следующей последовательности.

Б.5.1 Вычисляют величину 1-го смещения координаты нулевого радиуса Δ^1 , мм, по формуле

$$\Delta^1 = \frac{\Delta x}{3}, \quad (\text{Б.14})$$

где Δx - разность значений координат по оси X нулевого r_0^0 и 1-го r_1^0 радиусов при нулевом смещении (рисунок И.4), равная: $\Delta x = x_0^0 - x_1^0$ [см. формулы (Б.6), (Б.7)].

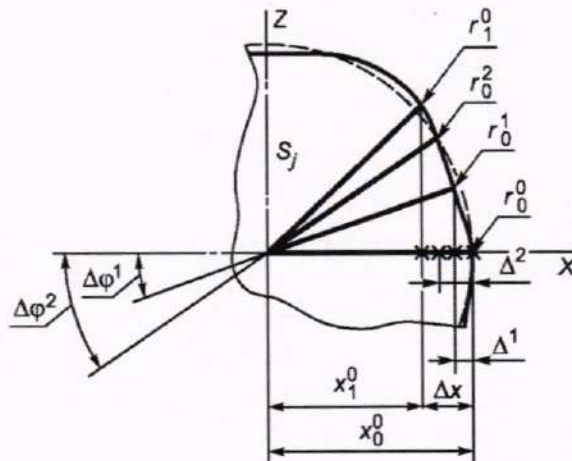


Рисунок Б.4 - Схема смещений координат радиусов

Б.5.2 Координату нулевого радиуса при первом смещении r_0^1 на оси X вычисляют по формуле

$$x_0^1 = x_0^0 - \Delta^1, \quad (\text{Б.15})$$

где x_0^0 - значение координаты нулевого радиуса по оси X при нулевом смещении, вычисляемое по формуле (Б.6), мм;

Δ^1 - величина смещения координаты нулевого радиуса при первом смещении, вычисляемая по формуле (Б.14), мм.

r_0^0, r_0^1, r_0^2 - координаты нулевого радиуса при нулевом, первом, втором смещении соответственно; Δ^1, Δ^2 - значение 1-го и 2-го смещения координат 0-го радиуса соответственно.

Значения координаты z_0^1 на оси Y , приведенные к началу системы координат, вычисляют по формуле

$$z_0^1 = (z_0^1)' - z^0, \quad (\text{Б.16})$$

где $(z_0^1)'$ - значение координаты, соответствующее x_0^1 , мм;
 z^0 - значение координаты начала системы координат $0(z_i^0; x_i^0)$ на оси Z , вычисляемое по формуле (Б.5), мм.

Угол $\Delta\varphi^1$ между осью X и нулевым радиусом при первом смещении r_0^1 (рисунок Б.4) вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi^1 = \arctg\left(\frac{z_0^1}{x_0^1}\right), \quad (\text{Б.17})$$

Б.5.3 Координату по оси X 1-го радиуса r_1^1 при первом смещении вычисляют по формуле

$$x_1^1 = r_0^1 \cdot \cos(\Delta\varphi^1 + \varphi), \quad (\text{Б.18})$$

где r_0^1 - длина нулевого радиуса, вычисляемая по формуле (Б.11), подставляя значения x_0^1, z_0^1 , мм;

φ - угол, значение которого принимают равным 30° .

Б.5.4 Координату i -го радиуса r_i^1 при первом смещении вычисляют по формуле

$$x_i^1 = r_0^1 \cdot \cos(\Delta\varphi^1 - i \cdot \varphi), \quad (\text{Б.19})$$

где i - номер радиуса; выбирают из ряда: 0, 1, 2, ..., 12.

Значения координат i -го радиуса r_i^1 , мм, на оси Z , приведенные к началу системы координат, вычисляют по формуле

$$z_i^1 = (z_i^1)' - z^0, \quad (\text{Б.20})$$

Б.5.5 Вычисляют величину 2-го смещения координаты нулевого радиуса Δ^2 , мм, по формуле

$$\Delta^2 = \frac{2}{3} \Delta x, \quad (\text{Б.21})$$

где Δx - разность значений координат по оси X нулевого r_0^0 и 1-го r_1^0 радиусов при нулевом смещении (рисунок Б.4), равная: $\Delta x = x_0^0 - x_1^0$ [см. формулы (Б.6), (Б.7)].

Б.5.6 Проводят аналогичные операции по Б.5.2 - Б.5.4, заменяя: в формулах (Б.15) - (Б.20) величины с верхним индексом "1" на величины с верхним индексом "2", указывающий на номер смещения координаты нулевого радиуса.

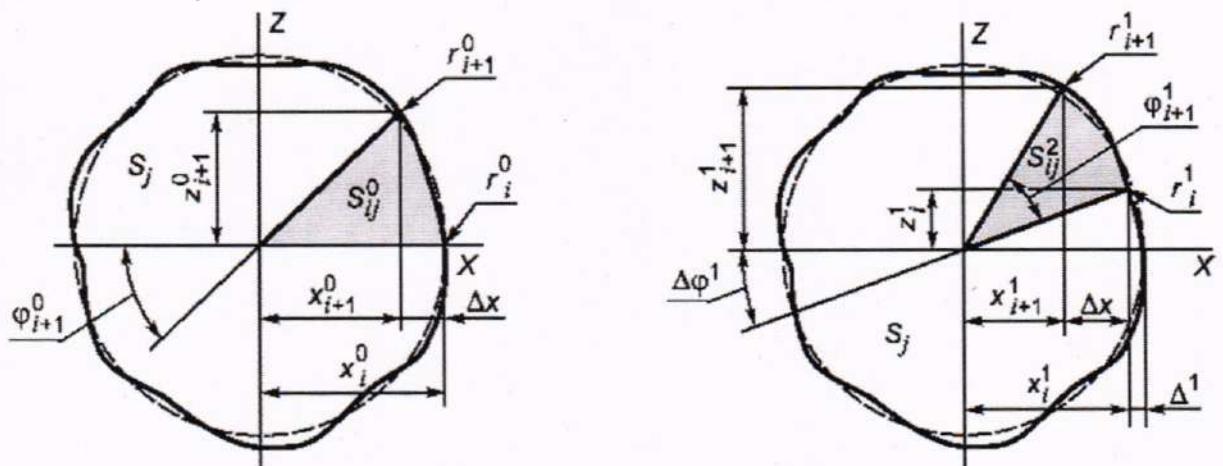
Б.5.7 Площадь сечения S_j , м² (левое, среднее, правое) i -го пояса вычисляют по формуле

$$S_j = 10^{-6} \sum_{m=0}^2 \sum_{i=0}^{11} \left[\frac{\pi \cdot (\varphi_{i+1,j}^m - \varphi_{i,j}^m)}{180} (r_{i+1,j}^m + r_{i,j}^m)^2 \right], \quad (\text{Б.22})$$

где m - число смещений координат отсчета выбирают из ряда: 0, 1, 2 (рисунок Б.3);

$\varphi_{i,j}^m$ ($\varphi_{i+1,j}^m$) - угол между i -м ($i+1$) радиусом и осью X при m -м смещении [перечисление а) рисунка Б.5 - при нулевом смещении, перечисление б) - при первом смещении ($m = 1$)];

S_{ij} - площадь i -го сектора, ограниченного радиусами r_{i+1}^0, r_i^0 при нулевом смещении j -го сечения или площадь i -го сектора, ограниченного радиусами r_{i+1}^1, r_i^1 при первом смещении j -го сечения; $r_{i+1}^0, r_i^0, r_{i+1}^1, r_i^1$ - радиусы i -го сектора в точках измерений; Δ^1 - смещение начала координат с указанием номера; Δx - разность координат по оси X радиусов $r_{i+1}^0, r_i^0, r_{i+1}^1, r_i^1$ при нулевом и первом смещении начала отсчета.



а - схема параметров i -го сектора при нулевом смещении

б - схема параметров i -го сектора при 1-м смещении

Рисунок Б.5 - Схема параметров в j -м сечении

Б.6 Стандартную неопределенность $u(S_{j(\text{л,с,п})M})$ площади сечения (левое, среднее, правое) j -го пояса, обусловленные методом построения сечения, вычисляют по формуле

$$u(S_{j(l,c,p)})_M = \sqrt{\frac{\sum_{m=0}^2 (S_{m,j} - \bar{S}_j)^2}{6}}, \quad (\text{Б.23})$$

где $\bar{S}_j$ - среднее арифметическое значение площади сечения j -го пояса, мм²;

m - номер смещения координаты i -го сектора, выбирают из ряда: 0, 1, 2;

$S_{m,j}$ - площадь сечения (левое, среднее, правое) при нулевом, первом, втором смещениях координаты i -го сектора, мм², вычисляемая по формуле (Б.22).

Стандартную неопределенность $u(S_j)_M$ площади сечения j -го пояса, обусловленную методом построения сечения, вычисляют по формуле

$$u(S_j)_M = \sqrt{[u(S_{jl})_M]^2 + [u(S_{jc})_M]^2 + [u(S_{jp})_M]^2}, \quad (\text{Б.24})$$

где $u(S_{jl})_M$, $u(S_{jc})_M$, $u(S_{jp})_M$ - стандартные неопределенности площадей левого, среднего, правого сечений j -го пояса, вычисляемые по формуле (Б.23).

Б.6.1 Длина i -го радиуса-вектора r в сечении вычисляют по формуле

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}, \quad (\text{Б.25})$$

где x , z - координаты по осям X и Z на координате y , принимаемые из файла объединенного ("сшитого") облака точек соответственно, мм.

Координаты x , z вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \cos \varphi; \\ z &= r \cdot \sin \varphi; \end{aligned} \quad (\text{Б.26})$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{z}{x}\right). \quad (\text{Б.27})$$

Неопределенность координаты i -го радиуса r_{ij} сечения (левое, среднее, правое) вычисляют по формулам:

$$u(x_r) = \frac{u(l) \cdot x}{r}; \quad (\text{Б.28})$$

$$u(x_\varphi) = r \cdot (-\sin \varphi) \cdot u(\varphi);$$

$$u(x) = \sqrt{[u(x_r)]^2 + [u(x_\varphi)]^2}; \quad (\text{Б.29})$$

$$\begin{aligned} u(z_r) &= \frac{u(l) \cdot z}{r}; \\ u(z_\varphi) &= \frac{u(r) \cdot z}{\operatorname{tg} \varphi}; \end{aligned} \quad (\text{Б.30})$$

$$u(z) = \sqrt{[u(z_r)]^2 + [u(z_\varphi)]^2}; \quad (\text{Б.31})$$

где $u(l)$ - расширенная неопределенность линейного расстояния, принимаемая по описанию типа сканера, мм;

$u(\varphi)$ - расширенная неопределенность угловых измерений, принимаемая по описанию типа сканера, мм;

r - значение длины радиус-вектора, вычисляемое по формуле (Б.25), мм;

φ - значение угла от оси X , вычисляемое по формуле (Б.27), град.

Б.6.2 Неопределенность i -го радиуса сечения (левое, среднее, правое) вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} u(r_x) &= \frac{x \cdot u(x)}{\sqrt{x^2 + z^2}}; \\ u(r_z) &= \frac{y \cdot u(z)}{\sqrt{x^2 + z^2}}; \end{aligned} \quad (\text{Б.32})$$

$$u(r) = \sqrt{[u(r_x)]^2 + [u(r_z)]^2}; \quad (\text{Б.33})$$

Б.6.3 Неопределенность $u(S_{i(l,c,n)})_R$ площади сечения (левое, среднее, правое) i -го пояса вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} u(S_{i(l,c,n)})_\varphi &= \frac{1}{3} \sum_{m=0}^2 \frac{u(\varphi) \cdot (S_j)_m}{(\varphi_{i+1,j}^m - \varphi_{i,j}^m)}; \\ u(S_{i(l,c,n)})_r &= \frac{1}{3} \sum_{m=0}^2 2 \frac{u(l) \cdot (S_j)_m}{(r_{i+1,j}^m + r_{i,j}^m)}; \end{aligned} \quad (\text{Б.34})$$

$$u(S_{i(l,c,n)})_R = \sqrt{[u(S_{i(l,c,n)})_\varphi]^2 + [u(S_{i(l,c,n)})_r]^2}; \quad (\text{Б.35})$$

Б.6.4 Неопределенность $u(S_i)_R$ площади сечения i -го пояса вычисляют по формуле

$$u(S_i)_R = \sqrt{[u(S_{jл})_R]^2 + [u(S_{jc})_R]^2 + [u(S_{jn})_R]^2}; \quad (\text{Б.36})$$

где $u(S_{in})_R$, $u(S_{ic})_R$, $u(S_{in})_R$ - неопределенности площадей в левом, среднем, правом сечении

i -го пояса, вычисляемые по формуле (Б.35).

Б.6.5 Неопределенность объема $u(V_i)$ i -го пояса, %, вычисляют по формуле

$$u(V_i) = \frac{[u(S_i)_R + u(S_i)_M + S_i] \cdot l_i}{S_i \cdot l_i} \cdot 100 = \frac{u(S_i)_R + u(S_i)_M + S_i}{S_i} \cdot 100; \quad (\text{Б.37})$$

где S_i - среднее арифметическое значение левого, среднего, правого сечений площади i -го сечения, м^2 , вычисляемых по формуле (Б.22).

Б.6.6 Стандартную неопределенность объема $uV(H)_i$ i -го пояса при уровне наполнения H вычисляют по формуле

$$uV(H)_i = \frac{u(V_i) \cdot S(H)_i}{S_i}; \quad (\text{Б.38})$$

где $S(H)_i$ - среднее арифметическое значение левого, среднего, правого сечений площади i -го сечения на уровне наполнения H , вычисляемых по формуле (Б.3), м^2 .

Б.7 Стандартную неопределенность вместимости резервуара $uV(H)$ при уровне наполнения H вычисляют по формуле

$$uV(H) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n uV(H)_i; \quad (\text{Б.39})$$

где $uV(H)_i$ - неопределенность объема i -го пояса при уровне наполнения H ;
 n - число поясов резервуара.

Приложение В

(обязательное)

Вычисление вместимости резервуара, приведенной к стандартной температуре 20 °С

В.1 Поправку на температурное расширение стенок резервуара к значению вместимости резервуара V_t , вычисленному по формулам (Б.1) вычисляют по формуле

$$V_t = V \cdot K_t, \quad (\text{В.1})$$

где K_t - поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры стенки пояса на вместимость, $1/^\circ\text{C}$, вычисляемый по формулам:

а) при приведении значений вместимости к стандартной температуре 20 °С величину K'_t вычисляют по формуле

$$K'_t = \left[1 + 3\alpha_p (T_p - 20) \right]^{-1}; \quad (\text{В.2})$$

б) при приведении значений вместимости к стандартной температуре 15 °С величину K''_t вычисляют по формуле

$$K''_t = \left[1 + 3\alpha_p (T_p - 15) \right]^{-1}; \quad (\text{В.3})$$

где α_p - коэффициент линейного расширения (сжатия) металла, из которого изготовлен резервуар. Значение его для стали может быть принято равным $12,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$;

T_p - температура стенки резервуара, °С;

20 (15) - стандартная температура, при которой определена вместимость пояса и вместимость резервуара в целом, °С.

Приложение Г (обязательное)

Порядок проведения ежегодного измерения базовой высоты резервуара

Г.1. Ежегодные измерения базовой высоты резервуара проводит комиссия, назначенная приказом руководителя предприятия – владельца резервуара, в состав которой должен быть включен специалист, прошедший курсы повышения квалификации по поверке и калибровке резервуаров. Измерения базовой высоты проводят не менее двух раз в соответствии с п.9.1 настоящей методики. Расхождение между результатами двух измерений не должно быть более 2 мм. Если расхождение между результатами двух измерений превышает 2 мм, проводят дополнительные измерения.

Г.2. При ежегодном измерении базовой высоты резервуар может быть наполнен до произвольного уровня. Среднее арифметическое значение результатов двух измерений базовой высоты резервуара, расхождение между которыми не превышает 2 мм, не должно отличаться от значения базовой высоты, установленного при предыдущей поверке и указанного в протоколе поверки, более чем на 0,1 %.

Г.3. Если это условие не выполняется, резервуар освобождают от жидкости и проводят повторное измерение базовой высоты резервуара.

Г.4. Результаты измерения базовой высоты оформляют актом, форма которого приведена в приложении Д.

Г.5. При изменении базовой высоты более чем на 0,1 % по сравнению с её значением, установленным при поверке резервуара, устанавливают причину данного изменения и устраняют её. В случае невозможности устранения причины проводят первичную поверку резервуара.

Приложение Д
(рекомендуемое)

Форма акта измерений базовой высоты резервуара

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель предприятия - владельца резервуара
(директор, главный инженер)

АКТ

измерений базовой высоты резервуара
от " ____ " ____ года

Составлена в том, что комиссия, назначенная приказом по _____
наименование предприятия - владельца резервуара
_____ в составе председателя _____
инициалы, фамилия

и членов _____
инициалы, фамилии
провела контрольные измерения базовой высоты резервуара _____ № _____
тип резервуара
при температуре окружающего воздуха _____ °С.

Базовая высота резервуара, мм		Уровень жидкости в резервуаре, мм
Среднее арифметическое значение результатов двух измерений $(H_6)_к$	Значение базовой высоты, установленное при поверке резервуара $(H_6)_п$	
1	2	3

Относительное изменение базовой высоты резервуара δ_6 , %, вычисляют по формуле

$$\delta_6 = \frac{(H_6)_к - (H_6)_п}{(H_6)_п} \cdot 100$$

где значения величин $(H_6)_к$, $(H_6)_п$ приведены в графах 1 и 2 таблицы.

Вывод - требуется (не требуется) внеочередная поверка резервуара.

Председатель комиссии

Члены комиссии
