ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.996— 2020

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕЗЕРВУАРЫ СТАЛЬНЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

Методика калибровки электронно-оптическим методом

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Публичным акционерным обществом «Нефтяная компания Роснефть» (ПАО «НК Роснефть»), Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт расходометрии» (ФГУП «ВНИИР»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 024 «Метрологическое обеспечение добычи и учета энергоресурсов (жидкостей и газов)»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 ноября 2020 г. № 1082-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, оформление, 2021

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения ... 1
2 Нормативные ссылки ... 1
3 Термины и определения ... 2
4 Сокращения ... 4
5 Метод калибровки ... 5
6 Технические требования ... 5
6.1 Требования к точности измерений параметров резервуара ... 5
6.2 Требования по применению рабочих эталонов и вспомогательных средств ... 6
6.3 Требования к условиям калибровки ... 6
7 Требования к организации проведения калибровки ... 7
8 Требования к квалификации специалистов, проводящих калибровку, и требования безопасности ... 7
9 Подготовка к проведению калибровки ... 8
10 Операции калибровки ... 8
10.1 Метод внутренних измерений ... 8
10.2 Метод наружных измерений ... 9
10.3 Выбор методов калибровки ... 10
11 Проведение калибровки резервуара методом внутренних измерений с применением тахеометра ... 10
11.1 Внешний осмотр ... 10
11.2 Измерение базовой высоты ... 10
11.3 Определение внутренних диаметров поясов резервуара ... 12
11.4 Измерения высоты поясов резервуара ... 13
11.5 Определение параметров «мертвой» полости резервуара ... 14
11.6 Определение объемов внутренних деталей ... 15
12 Проведение калибровки методом внутренних измерений с применением сканера ... 15
12.1 Внешний осмотр ... 15
12.2 Измерение базовой высоты резервуара ... 16
12.3 Сканирование внутренней полости резервуара ... 16
12.4 Сканирование внутренней полости резервуара подкрышного (понтонного) пространства резервуаров с плавающим покрытием ... 16
12.5 Сканирование внутренней полости надкрышного (понтонного) пространства резервуаров с плавающим покрытием ... 17
13 Проведение калибровки методом наружных измерений с применением тахеометра ... 17
13.1 Внешний осмотр ... 17
13.2 Измерение базовой высоты резервуара ... 17
13.3 Измерения длины окружности первого пояса ... 17
13.4 Измерения радиальных отклонений образующих резервуара от вертикали ... 18
13.5 Определение степени наклона резервуара ... 19
13.6 Измерения высоты поясов и толщины стенок ... 20
13.7 Определение параметров «мертвой» полости резервуара ... 21
13.8 Определение объемов внутренних деталей ... 21
14 Проведение калибровки методом наружных измерений с применением сканера ... 21
14.1 Внешний осмотр ... 21
14.2 Измерение базовой высоты резервуара ... 21
14.3 Сканирование наружной поверхности резервуара ... 21
14.4 Измерения высот поясов и толщины стенок ... 22
15 Измерения прочих параметров резервуара ... 22
15.1 Измерение плотности жидкости ... 22
15.2 Измерения уровня жидкости ... 22
15.3 Определение параметров плавающего покрытия ... 22
15.4 Измерение высоты газового пространства в измерительном люке плавающей крыши ... 23
16 Обработка результатов измерений и составление градуировочной таблицы ... 23
16.1 Обработка результатов измерений ... 23
16.2 Составление градуировочной таблицы резервуара ... 23

17 Оформление результатов калибровки 24
Приложение А (справочное) Схемы измерений и параметров измерений 25
Приложение Б (обязательное) Форма протокола измерений резервуара с применением тахеометра 39
Приложение В (рекомендуемое) Форма акта измерений базовой высоты 45
Приложение Г (обязательное) Форма титульного листа градуировочной таблицы и форма градуировочной таблицы 46
Приложение Д (обязательное) Обработка результатов измерений с применением тахеометра 48
Приложение Е (обязательное) Алгоритм обработки результатов измерений при построении трехмерной модели САПР с применением тахеометра 61
Приложение Ж (обязательное) Алгоритм обработки результатов измерений при применении сканера и функциональные требования к программному обеспечению 66
Приложение И (обязательное) Оценка неопределенности вместимости резервуара при обработке результатов измерений по приложению Д (применение тахеометра) 68
Приложение К (обязательное) Обработка результатов измерений при применении сканера и оценка неопределенности вместимости резервуара 79
Приложение Л (справочное) Форма журнала обработки результатов измерений 86
Библиография 88

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕЗЕРВУАРЫ СТАЛЬНЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

Методика калибровки электронно-оптическим методом

State system for ensuring the uniformity of measurements.
Steel upright cylindrical tanks. Calibration procedure using the electron optical method

Дата введения — 2021—02—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на стальные вертикальные цилиндрические резервуары, в том числе: с плавающим покрытием; теплоизолированные; с защитной стенкой; казематные, номинальной вместимостью от 100 до 160 000 м^3, используемые в качестве мер вместимости для нефти — и нефтепродуктов, подтоварной воды, химических продуктов, сжиженных природных газов (далее — продукт) и устанавливает методику их калибровки.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.570 Государственная система обеспечения единства измерений. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки

ГОСТ 12.0.004 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения

ГОСТ 12.1.005 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.4.087 Система стандартов безопасности труда. Строительство. Каски строительные. Технические условия

ГОСТ 12.4.137 Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия

ГОСТ 12.4.310 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты работающих от воздействия нефти, нефтепродуктов. Технические требования

ГОСТ 2517 Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб

ГОСТ 3900 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности

ГОСТ 7502 Рулетки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 13837 Динамометры общего назначения. Технические условия

ГОСТ 28243 Пирометры. Общие технические требования

ГОСТ 34100.3/ISO/IEC Guide 98-3 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ Р 55614 Контроль неразрушающий. Толщиномеры ультразвуковые. Общие технические требования

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «На-

Издание официальное

циональные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

базовая высота резервуара: Расстояние по вертикали от точки касания днища грузом рулетки до верхнего края измерительного люка или до риски направляющей планки измерительного люка.

[ГОСТ 8.570—2000, пункт 3.12]

3.2 **вместимость резервуара:** Внутренний объем резервуара с учетом объема внутренних деталей (незаполненных), который может быть наполнен жидкостью до определенного уровня.

3.3 **высота «мертвой» полости:** Расстояние по вертикали от точки касания днища грузом рулетки до нижнего среза приемо-раздаточного патрубка, приемо-раздаточного устройства.

3.4 **высота незаполненного пространства:** Расстояние по вертикали между свободной поверхностью жидкости, находящейся в резервуаре, и эталонной точкой резервуара.

3.5 **высота неровностей днища:** Расстояние по вертикали от точки касания днища грузом рулетки до уровня покрытия неровностей днища.

3.6 **геометрический метод калибровки:** Метод, заключающийся в определении вместимости резервуара по результатам измерений его геометрических параметров.

3.7 **горизонтальное проложение:** Проекция измеренного наклонного расстояния на горизонтальную плоскость.

3.8 **градуировка резервуара:** Операция по установлению зависимости вместимости резервуара от уровня его наполнения жидкостью с целью составления градуировочной таблицы.

3.9 **градуировочная таблица:** Зависимость вместимости от высоты уровня наполнения резервуара при нормированном значении температуры, равной 15 °С или 20 °С.

Примечания

1 Таблицу прилагают к сертификату о калибровке резервуара и применяют для определения в нем объема жидкости.

2 Значение стандартной температуры, которой соответствуют данные в градуировочной таблице указано на ее титульном листе.

3.10 **действительная (фактическая) полная вместимость резервуара:** Вместимость резервуара, соответствующая предельному уровню его наполнения, установленная при его калибровке.

3.11

жидкость при хранении: Жидкость, для хранения которой предназначен резервуар.

[ГОСТ 8.570—2000, пункт 3.18]

3.12

исходный уровень: Уровень жидкости в резервуаре, соответствующий высоте «мертвой» полости.

[ГОСТ 8.570—2000, пункт 3.14]

3.13 **лазерный сканер:** Геодезический прибор, реализующий функцию линейных и угловых высокоскоростных измерений с целью определения пространственного положения точек измеряемой поверхности в условной системе координат.

3.14 **калибровка резервуара:** Совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик резервуара.

3.15 **коэффициент вместимости:** Вместимость резервуара, приходящаяся на 1 мм высоты наполнения.

3.16 **«мертвая» полость резервуара:** Нижняя часть резервуара, из которой невозможно выбрать жидкость, используя приемо-раздаточный патрубок, приемо-раздаточное устройство.

3.17

неопределенность измерений: Неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации.
[[1], статья 5.34]

3.18

нивелирование: Определение превышений.
[ГОСТ 22268—76, статья 95]

3.19 **номинальная вместимость резервуара:** Вместимость резервуара, соответствующая максимальному уровню наполнения, установленная нормативным документом для конкретного типа резервуара.

3.20 **облако точек:** Результат сканирования в виде массива данных пространственных координат точек поверхностей с соответствующей станции.

3.21 **объем неровностей днища:** Объем днища резервуара в пределах высоты неровностей днища.

3.22 **объединенное («сшитое») облако точек:** Приведенные к одной системе координат облака точек, измеренные с соответствующих станций.

3.23 **объемный метод определения вместимости:** Метод, заключающийся в определении вместимости резервуара путем наполнения его жидкостью и одновременных измерениях уровня, объема и температуры жидкости для каждого изменения уровня.

3.24 **плавающее покрытие:** Конструкция, плавающая на поверхности хранимого продукта и закрывающая поверхность продукта по всей площади поперечного сечения резервуара с целью предотвращения его испарения.

3.25 **плавающая крыша:** Плавающее покрытие, расположенное внутри резервуара, не имеющего стационарной крыши.

3.26 **понтон:** Плавающее покрытие, расположенное внутри резервуара со стационарной крышей.

3.27 **посантиметровая вместимость резервуара:** Вместимость резервуара, соответствующая высоте уровня налитых в него доз жидкости, приходящихся на 1 см высоты наполнения.

3.28

превышение: Разность высот точек.
[ГОСТ 22268—76, статья 94]

3.29 **предельный уровень:** Предельный уровень определения посантиметровой вместимости резервуара при его калибровке.

3.30

программное обеспечение: Совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ.
[ГОСТ 19781—90, статья 2]

3.31 **резервуар стальной вертикальный цилиндрический:** Стальной сосуд в виде стоящего цилиндра с днищем, стационарной кровлей или плавающей крышей, применяемый для хранения и измерения объема жидкости.

3.32 **резервуар стальной вертикальный цилиндрический теплоизолированный:** Резервуар стальной вертикальный цилиндрический, наружная поверхность которого покрыта слоем теплоизоляции.

3.33

резервуар с защитной стенкой: Конструктивное решение резервуара стального вертикального, включающее в себя внутренний основной резервуар со стационарной или плавающей крышей и наружный защитный резервуар.
[ГОСТ 31385—2016, пункт 3.9]

3.34 **резервуар казематный:** Резервуар стальной вертикальный, расположенный с кольцевым зазором (1—1,2 м) внутри каземата заглубленного расположения, состоящего из железобетонной цилиндрической стенки и настила, обсыпанного сверху грунтом.

3.35 **система автоматизированного проектирования;** САПР: Программное обеспечение, реализующее метод трехмерного геометрического проектирования объекта по заданным точкам.

3.36 **скан:** Визуализированное трехмерное изображение облака точек.

3.37 **сканирование:** Операция по измерению линейных и угловых координат точек, лежащих на поверхности стенки резервуара, внутренних деталей и оборудования.

3.38 **станция:** Точка стояния тахеометра или лазерного сканера во время проведения измерений.

3.39

степень наклона резервуара: Величина η, выражаемая через тангенс угла наклона вертикальной оси резервуара к горизонтальной плоскости, рассчитываемая по формуле

$$\eta = \operatorname{tg} \beta,$$

где β — угол наклона вертикальной оси резервуара (далее — угол наклона резервуара), в градусах.

[ГОСТ 8.570—2000, пункт 3.19]

3.40

тахеометр: Геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин линий и превышений.

[ГОСТ 21830—76, статья 34]

3.41

тригонометрическое нивелирование: Нивелирование при помощи геодезического прибора с наклонной визирной осью.

[ГОСТ 22268—76, статья 97]

3.42 **точка касания днища грузом рулетки (начало отсчета):** Точка на днище резервуара или на опорной плите (при наличии), которой касается груз измерительной рулетки при измерении базовой высоты резервуара и от которой проводят измерение уровня продукта с грузом при эксплуатации резервуара.

3.43

управляющая программа: Системная программа, реализующая набор функций управления, в который включают управление ресурсами и взаимодействием с внешней средой системы обработки информации, восстановление работы системы после проявления неисправностей в технических средствах.

[ГОСТ 19781—90, статья 5]

3.44 **уровень жидкости (высота наполнения):** Расстояние по вертикали между свободной поверхностью жидкости, находящейся в резервуаре, и плоскостью, принятой за начало отсчета.

3.45 **эталонная точка резервуара:** Верхний край фланца измерительного люка резервуара или риски в планке измерительного люка резервуара.

3.46 **эталонная точка уровнемера:** Верхний край фланца горловины резервуара, на котором смонтирован уровнемер.

3.47 **эталонная высота уровнемера $H_{э.ур}$:** Расстояние по вертикали от верхнего фланца установки уровнемера до проекции его вертикальной оси на днище резервуара или горизонтальной плоскости, проходящей через точку начала отсчета.

3.48 **3D-моделирование:** Построение трехмерной модели объекта, по объединенному («сшитому») облаку точек специализированным программным обеспечением.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВД — внутренняя деталь резервуара;

НД — неровности днища резервуара;

МП — «мертвая» полость резервуара,

ПО — программное обеспечение, управляющая программа;

РВС — резервуар вертикальный стальной цилиндрический со стационарной крышей;

РВСП — резервуар вертикальный стальной цилиндрический со стационарной крышей и понтоном;

РВСПК — резервуар вертикальный стальной цилиндрический с плавающей крышей;

РВС(Т) — резервуар вертикальный стальной цилиндрический теплоизолированный;

РВС(ЗС) — резервуар вертикальный стальной цилиндрический с защитной стенкой;

РВС(К) — резервуар вертикальный стальной цилиндрический казематный.

5 Метод калибровки

5.1 Калибровку резервуара проводят геометрическим методом наружных и внутренних измерений с применением электронного тахеометра (далее — тахеометр) или лазерной координатно-сканирующей системы (далее — сканер).

5.1.1 Калибровка резервуара с применением тахеометра

При внутренних измерениях вместимость резервуара определяют по результатам измерений внутренних диаметров и высот поясов с учетом степени и угла наклона резервуара.

При наружных измерениях вместимость 1-го пояса резервуара определяют по результатам измерений наружного диаметра и высоты 1-го пояса.

Вместимость вышестоящих поясов определяют по результатам измерений радиальных отклонений образующих от вертикали и их высот с учетом толщин стенок резервуара, степени и угла наклона.

5.1.2 Калибровка резервуара с применением сканера

5.1.2.1 Вместимость резервуара (за исключением РВСП, РВСПК) определяют на основании вычисленного объема 3D-модели резервуара, построенной с помощью специализированного программного обеспечения по результатам измерений пространственных координат точек, лежащих на внутренней/внешней поверхности резервуара.

5.1.2.2 Вместимость резервуаров с плавающим покрытием определяют на основании вычисленного объема 3D-модели, построенной по результатам сканирования: внутренней полости подкрышного/понтонного пространства; надкрышного/понтонного пространства; наружной поверхности резервуара.

5.2 При проведении первичной калибровки применяют метод внутренних измерений для всех типов резервуаров.

При проведении периодической калибровки РВС может применяться метод внутренних и наружных измерений.

Примечание — Допускается применение объемного метода определения вместимости «мертвой» полости по ГОСТ 8.570 в пределах высоты «мертвой» полости или высоты неровностей днища.

5.3 Данные калибровки, полученные в соответствии с настоящим стандартом, могут быть использованы при проведении поверки резервуара при условии, что проведенные операции калибровки резервуара и условия, при которых эти измерения проведены, идентичны операциям поверки и условиям их проведения, предусмотренным методикой поверки резервуара, установленной при утверждении его типа по [2].

6 Технические требования

6.1 Требования к точности измерений параметров резервуара

6.1.1 Пределы допускаемой погрешности измерений параметров резервуара приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Пределы допускаемой погрешности измерений параметров резервуаров вместимостью, $м^3$	
	от 100 до 4999	от 5000 до 160 000
Длина окружности первого пояса, %	± 0,022	
Высота пояса, мм	± 5	
Измерение расстояний, мм	± 5	
Толщина стенок (включая слой покраски), мм	± 0,2	
Температура стенки резервуара, °С	± 2	
Объем внутренних деталей, $м^3$	± (0,005—0,025)	± (0,025—0,25)

6.1.2 При обеспечении пределов допускаемой погрешности измерений, указанных в таблице 1, неопределенность вместимости резервуара находится в пределах:

± 0,20 % — для резервуаров номинальной вместимостью от 100 до 3000 включ., $м^3$;

± 0,15 % — для резервуаров номинальной вместимостью св. 3000 до 4999, м^3;
± 0,10 % — » » » » от 5000 до 160 000, м^3.

Точное значение неопределенности вместимости на соответствующем уровне приведено в градуировочной таблице.

6.2 Требования по применению рабочих эталонов и вспомогательных средств

При калибровке резервуара применяют следующие рабочие эталоны и вспомогательные средства.

6.2.1 Установки поверочные, в состав которых входит следующее.

6.2.1.1 Рулетки измерительные 2-го класса точности с верхними пределами измерений 10, 20, 30 и 50 м по ГОСТ 7502.

6.2.1.2 Рулетки измерительные с грузом 2-го класса точности с верхними пределами измерений 10, 20 и 30 м по ГОСТ 7502.

6.2.1.3 Тахеометр с допускаемой средней квадратической погрешностью измерения углов не более 5" и допускаемой средней квадратической погрешностью измерения расстояний не более 4 мм и программное обеспечение.

6.2.2 Установки поверочные, в состав которых входит следующее.

6.2.2.1 Рулетки измерительные с грузом 2-го класса точности с верхними пределами измерений 10, 20 и 30 м по ГОСТ 7502.

6.2.2.2 Сканер с погрешностью измерения расстояний не более 4 мм и программное обеспечение.

6.2.3 Пирометр по ГОСТ 28243, с диапазоном измерений температуры от минус 10 °С до плюс 65 °С, показателем визирования не менее 16:1, имеющий функцию фокусирования объекта измерений, с пределами допускаемой абсолютной погрешности ±2 °С.

6.2.4 Толщиномер ультразвуковой по ГОСТ Р 55614, с диапазоном измерений 0,6—30 мм и пределами допускаемой погрешности ±0,1 мм.

6.2.5 Метеометр типа МЭС-200А с диапазоном измерений: скорости ветра — до 20 м/с; влажности воздуха — до 98 %, температуры окружающей среды — от минус 20 °С до плюс 50 °С.

6.2.6 Вспомогательные средства:

- отражатель поворотный типа RT-50 с вехой телескопической, оборудованной круговым уровнем;
- марка сферическая (не менее 3 шт.), входящая в комплект сканера[1)];
- компьютер переносной;
- маркер, мел, шпатель, щетки (металлические);
- динамометр с пределом 0,1 кН, 2-го класса точности, с пределами приведенной погрешности измерений ±2 % по ГОСТ 13837;
- светильники переносные (прожекторы) во взрывозащищенном исполнении.

6.2.7 Рабочие эталоны должны быть аттестованы в установленном порядке.

6.3 Требования к условиям калибровки

6.3.1 При проведении калибровки соблюдают следующие условия:

температура окружающего воздуха: .....от 5 °С до 35 °С;
состояние погоды: .....без осадков[2)];
скорость ветра: .....не более 10 м/с[3)];
освещенность внутренней полости резервуара, не менее: .....200 лк[4)];
относительная влажность воздуха: .....не более 95 %;
атмосферное давление.....от 84,0 до 106,7 кПа.

6.3.2 Максимальная допускаемая степень наклона резервуара при применении тахеометра должна быть не более 0,01.

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

6.3.4 Внутренняя (наружная)[5)] поверхность резервуара должна быть очищена до состояния, позволяющего проводить измерения.

[1)] При отсутствии (неприменении) GPS-приемника при позиционировании станции сканирования при наружных измерениях.

[2)] При проведении наружных измерений.

[3)] При проведении наружных измерений и при измерениях значения базовой высоты.

[4)] При проведении внутренних измерений и для РВСП, РВСПК.

[5)] В зависимости от применяемого метода измерений (внутренний/наружный).

6.3.5 Резервуар при первичной калибровке должен быть порожним. Опоры плавающего покрытия (понтон, плавающая крыша) должны находиться в ремонтном положении, обеспечивающим доступ и проведение работ на днище резервуара.

6.3.6 При периодической и внеочередной калибровках в резервуаре может находиться жидкость до произвольного уровня, а в резервуаре с плавающим покрытием — до минимально допустимого уровня, установленного в технологической карте резервуара.

6.3.7 При наличии жидкости в резервуаре допускается использовать результаты измерений вместимости «мертвой» полости, полученные ранее, и вносить протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.9), если изменение базовой высоты резервуара по сравнению с результатами ее измерений в предыдущей калибровке составляет не более 0,1 %, а изменения степени наклона и угла направления наклона резервуара — не более 1 %. В этом случае вместимость резервуара должна быть определена, начиная с исходного уровня или с уровня, соответствующего всплытию плавающего покрытия, до уровня, соответствующего полной вместимости резервуара.

Примечание — Вместимость «мертвой» полости резервуара для продуктов, образующих парафинистые отложения, допускается принимать равной ее вместимости, полученной при первичной калибровке резервуара или полученной при периодической калибровке резервуара после его зачистки.

6.3.8 Загазованность в воздухе вблизи или внутри резервуара не более предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ, установленной ГОСТ 12.1.005 и соответствующей [3].

7 Требования к организации проведения калибровки

7.1 Калибровку резервуаров, применяемых вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений, проводят юридические лица и индивидуальные предприниматели (далее — организация).

7.2 Организация, аккредитованная в национальной системе аккредитации, в соответствии с законодательством Российской Федерации может проводить калибровку резервуаров, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. При этом результаты калибровки могут быть использованы при проведении поверочных работ при условии, что проведенные операции калибровки резервуара и условия, при которых эти измерения проведены, идентичны операциям поверки и условиям их проведения, предусмотренным методикой поверки резервуара, установленной при утверждении его типа по [2].

7.3 Проводят следующие калибровки резервуара:

- первичную — после завершения строительства резервуара или капитального ремонта и его гидравлических испытаний — перед вводом его в эксплуатацию;
- периодическую — по истечении срока интервала между калибровками;
- внеочередную — в случаях изменения базовой высоты резервуара более чем на 0,1 % по 11.2; при внесении в резервуар конструктивных изменений, влияющих на его вместимость, и после очередного полного технического диагностирования.

7.4 Межкалибровочный интервал для всех типов вертикальных резервуаров должен быть не более 5 лет.

8 Требования к квалификации специалистов, проводящих калибровку, и требования безопасности

8.1 Измерения параметров при калибровке резервуара проводит группа лиц (не менее двух человек), включая не менее одного специалиста, прошедшего курсы повышения квалификации, и других лиц (при необходимости).

8.2 К проведению работ допускают лиц, освоивших настоящую методику, техническую документацию на резервуар и его конструкцию, средства измерений и прошедших инструктаж по безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004.

8.3 Лица, проводящие работы, используют спецодежду по ГОСТ 12.4.310, спецобувь по ГОСТ 12.4.137, строительную каску по ГОСТ 12.4.087.

8.4 ПДК вредных паров и газов в воздухе, измеренная газоанализатором вблизи или внутри резервуара на высоте 2000 мм, не должна превышать ПДК, установленную ГОСТ 12.1.005 и соответствующую [3].

8.5 Проведение измерений во время грозы категорически запрещено.

8.6 Для освещения при проведении измерений параметров резервуара применяют светильники во взрывозащитном исполнении.

8.7 Перед началом работ проверяют исправность следующего:

- лестниц с поручнями и подножками;
- помостов с ограждениями.

8.8 В процессе измерений параметров резервуара при методе внутренних измерений обеспечивают двух- или трехкратный обмен воздуха внутри резервуара. При этом анализ воздуха на содержание вредных паров и газов проводят через каждый час.

Продолжительность работы внутри резервуара — не более четырех часов, после каждой четырехчасовой работы — перерыв на один час.

8.9 При измерении базовой высоты избыточное давление в незаполненном (газовом) пространстве резервуара должно быть равно нулю (за исключением азотной подушки в газовом пространстве).

9 Подготовка к проведению калибровки

9.1 При подготовке к калибровке проводят следующие работы.

9.1.1 Изучают техническую документацию на резервуар.

9.1.2 Подготавливают рабочие эталоны и вспомогательные средства согласно технической документации на них, утвержденной в установленном порядке.

9.1.3 В сервисном ПО тахеометра/сканера формируют файл проекта записи данных.

9.1.4 Начинают заполнять протокол поверки, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.1).

9.1.5 Измеряют параметры окружающего воздуха метеометром (см. 6.2.5).

9.1.6 Проводят измерение температуры стенки резервуара с применением пирометра (пункт 6.2.3). Измерение температуры стенки резервуара проводят на четырех равноудаленных образующих стенки резервуара в 1-м, среднем, последнем поясах.

Значение температуры стенки принимают как среднее арифметическое значение измеренных значений.

9.1.7 Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.2).

9.1.8 При применении метода внутренних измерений получают следующие документы, выданные соответствующими службами владельца резервуара:

- акт на зачистку резервуара;
- заключение лаборатории о состоянии воздуха внутри резервуара, о соответствии концентрации вредных веществ требованиям ГОСТ 12.1.005,
- наряд-допуск на проведение работ с повышенной опасностью.

9.1.9 При проведении калибровки с применением тахеометра методом наружных измерений проверяют состояние уторного шва резервуара с целью оценки возможности проведения измерений степени наклона резервуара.

10 Операции калибровки

10.1 Метод внутренних измерений

10.1.1 Метод внутренних измерений применяют при проведении первичной калибровки для всех типов резервуаров.

10.1.2 При выполнении измерений геометрических параметров внутренней полости резервуара выполняют операции с применением тахеометра, указанные в таблице 2, сканера — указанные в таблице 3.

Таблица 2 — Перечень выполняемых операций при применении тахеометра

Наименование операции	Номер подраздела
Внешний осмотр	11.1
Измерение базовой высоты	11.2

Окончание таблицы 2

Наименование операции	Номер подраздела
Определение внутренних диаметров поясов резервуара	11.3
Измерения высоты поясов резервуара	11.4
Определение параметров «мертвой» полости резервуара	11.5
Определение объемов внутренних деталей	11.6

Таблица 3 — Перечень выполняемых операций при применении сканера

Наименование операции	Номер подраздела
Внешний осмотр	12.1
Измерение базовой высоты резервуара	12.2
Сканирование внутренней полости резервуара	12.3
Сканирование внутренней полости резервуара подкрышного (понтонного) пространства*	12.4
Сканирование внутренней полости надкрышного (понтонного) пространства*	12.5
Сканирование наружной поверхности резервуара*	14.3
* Применяют для резервуаров с плавающим покрытием (РВСП, РВСПК).	

10.2 Метод наружных измерений

10.2.1 Метод наружных измерений применяют при проведении периодической и внеочередной калибровок.

10.2.2 При выполнении измерений геометрических параметров наружной поверхности полости резервуара выполняют операции с применением тахеометра, указанные в таблице 4, сканера — указанные в таблице 5.

Таблица 4 — Перечень выполняемых операций при применении тахеометра

Наименование операции	Номер подраздела
Внешний осмотр	13.1
Измерение базовой высоты	13.2
Измерения длины окружности первого пояса	13.3
Измерения радиальных отклонений образующих резервуара от вертикали	13.4
Определение степени наклона резервуара*	13.5
Измерения высоты поясов и толщины стенок	13.6
Определение параметров «мертвой» полости резервуара	13.7
Определение объемов внутренних деталей	13.8
* Операции не выполняют для резервуаров с плавающим покрытием (РВСП, РВСПК) и для резервуаров, установленных на свайном фундаменте.	

Таблица 5 — Перечень выполняемых операций при применении сканера

Наименование операции	Номер подраздела
Внешний осмотр	14.1
Измерение базовой высоты резервуара	14.2
Сканирование наружной поверхности резервуара	14.3
Измерения высоты поясов и толщины стенок	14.4

10.3 Выбор методов калибровки

Применяемые методы калибровки (наружных/внутренних измерений) в зависимости от типов резервуаров приведены в таблице 6.

Таблица 6 — Методы калибровок

Тип резервуара	Метод калибровки			
	Первичная (внеочередная)		Периодическая	
	наружных измерений	внутренних измерений	наружных измерений	внутренних измерений
РВС	–	+	+**	+
РВС(Т)	–	+	–	+
РВС(ЗС)	–	+	–	+
РВС(К)	–	+	+	+
РВСП	+*	+	+**	+
РВСПК	+*	+	+**	+
* Измерение окружности 1-го пояса для всех видов калибровки. ** При наполненном резервуаре.				

11 Проведение калибровки резервуара методом внутренних измерений с применением тахеометра

11.1 Внешний осмотр

11.1.1 При внешнем осмотре резервуара проверяют:

- соответствие конструкции и внутренних деталей резервуара согласно технической документации на него (паспорт, технологическая карта на резервуар);
- наличие необходимой арматуры и оборудования;
- исправность лестниц и перил;
- чистоту внутренней поверхности резервуара,
- отсутствие деформации стенок резервуара, препятствующих проведению измерений параметров резервуара.

11.1.2 Определяют перечень внутренних деталей, оборудования, влияющих (не влияющих) на вместимость резервуара, например: заполненные продуктом трубопроводы; система подогрева, стационарные пробоотборные системы и т. д. и фиксируют их в копии технического проекта для дальнейшего включения или исключения их из расчета.

Примечание — Ввиду того, что оборудование, заполненное продуктом, представляет собой тонкостенную конструкцию, его объемом пренебрегают.

11.1.3 По результатам внешнего осмотра устанавливают возможность применения геометрического метода калибровки резервуара.

11.2 Измерение базовой высоты

11.2.1 Базовую высоту H_6 измеряют рулеткой с грузом через измерительный люк резервуара. Отсчет проводят от риски измерительного люка или от его верхнего среза.

11.2.2 Для резервуаров, не оборудованных измерительным люком, базовую высоту резервуара измеряют как эталонную высоту уровнемера, измеряющего общий уровень продукта (расстояние по вертикали от верхнего фланца установки уровнемера до проекции его вертикальной оси на днище резервуара или горизонтальной плоскости, проходящей через точку начала отсчета). Измерения эталонной высоты уровнемера проводят рулеткой с грузом не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно превышать 2 мм (см. рисунок А.1 приложения А).

11.2.3 Базовую высоту резервуара РВСПК с плавающей крышей измеряют через измерительный люк, установленный на направляющей стойке плавающей крыши или на трубе для радарного уровнемера (рисунок А.2).

11.2.4 Результаты измерений $H_б$ по 11.2.1—11.2.3 вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.3).

11.2.5 Для РВСПК, не оборудованных измерительным люком в направляющей стойке плавающей крыши, при невозможности измерения через трубу радарного уровнемера, например при наличии отбойной пластины, ненаполненном резервуаре базовую высоту определяют по результатам тригонометрического нивелирования (рисунок А.3).

Базовую высоту резервуара $H_б$ измеряют с применением:

а) рулетки измерительной с грузом по 6.2.1.2;

б) тахеометра по 6.2.1.3 и отражателя поворотного типа RT-50 с телескопической вехой (далее — веха), оборудованной круговым уровнем.

Измерение базовой высоты проводят в следующей последовательности.

11.2.5.1 Устанавливают тахеометр в районе центра резервуара на противоположной стороне от измерительного люка и направляющей стойки плавающей крыши.

11.2.5.2 Приводят тахеометр в рабочее положение в соответствии с руководством по эксплуатации. Устанавливают отражательный режим с параметрами измерений $HD - H_z - h$ (рисунок А.6).

11.2.5.3 Проводят измерение высоты установки инструмента $H_{инст}$ и высоту отражателя th (рисунок А.6). Измерение проводят измерительной рулеткой с грузом не менее двух раз с точностью 1 мм. За результат измерений принимают среднее арифметическое значение, округленное до целого миллиметра по правилам округления.

Полученные значения вводят в процессор тахеометра.

11.2.5.4 Устанавливают веху на фланец измерительного люка плавающей крыши, контроль вертикальности осуществляют по круговому уровню вехи.

11.2.5.5 Направляют сетку нитей в центр отражателя и измеряют высоту превышения $th_{ИЛ}$.

11.2.5.6 Устанавливают веху на фланец установки радарного уровнемера, направляют сетку нитей в центр отражателя и измеряют высоту превышения $th_{уров}$.

11.2.5.7 Проводят измерение базовой высоты измерительного люка плавающей крыши $H_Б^{рул}$. Измерение проводят измерительной рулеткой с грузом не менее двух раз с точностью 1 мм. Расхождение между результатами двух измерений не должно превышать 2 мм.

За результат измерений принимают среднее арифметическое значение, округленное до целого миллиметра по правилам округления.

Примечание — Термин «базовая высота измерительного люка плавающей крыши» в данном контексте определяет расстояние по вертикали от точки касания днища грузом рулетки до фланца измерительного люка плавающей крыши на момент измерений.

11.2.5.8 Результаты измерений параметров $H_{инст}$, th, $th_{ИЛ}$, $th_{уров}$, $H_Б^{рул}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.4).

11.2.6 Для наполненного резервуара РВСПК без измерительного люка в направляющей стойке плавающей крыши и невозможности измерения через трубу радарного уровнемера базовую высоту определяют с применением измерительной рулетки с грузом по результатам измерений высоты уровня наполнения через измерительный люк плавающей крыши $H_Б^{рул}$ и высоты $H_Б^{уров}$ от фланца установки уровнемера до уровня раздела «газовое пространство/жидкость» (рисунок А.4).

Измерение каждого параметра проводят не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно превышать 2 мм.

За значение параметра принимают среднее арифметическое значение, округленное до целого миллиметра по правилам округления.

Результаты измерений $H_Б^{рул}$, $H_Б^{уров}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.5).

11.2.7 Базовую высоту измеряют ежегодно. Ежегодные измерения базовой высоты резервуара проводит комиссия, назначенная приказом руководителя предприятия — владельца резервуара.

Примечание — Измерения проводят по истечении 12 мес с даты калибровки.

При ежегодных измерениях базовой высоты резервуара без плавающего покрытия резервуар может быть наполнен до произвольного уровня, резервуар с плавающим покрытием — до минимально допустимого уровня.

Результат измерений базовой высоты резервуара не должен отличаться от ее значения, указанного в протоколе калибровки резервуара, более чем на 0,1 %.

Если это условие не выполняется, то проводят повторное измерение базовой высоты при уровне наполнения резервуара, отличающемся от его уровня наполнения, указанного в протоколе калибровки резервуара, не более чем на 500 мм.

Результаты измерений базовой высоты оформляют актом, форма которого приведена в приложении В.

При изменении базовой высоты по сравнению с ее значением, установленным при калибровке резервуара, более чем на 0,1 % устанавливают причину изменения базовой высоты и устраняют ее. При отсутствии возможности устранения причины проводят внеочередную калибровку резервуара.

11.3 Определение внутренних диаметров поясов резервуара

Определение внутренних диаметров поясов проводят с применением тахеометра с одной станции съемки, расположенной в районе центра резервуара.

Внутренние диаметры поясов резервуара определяют по результатам измерений координат точек внутренней поверхности стенки резервуара (далее — координаты точек), расположенных на радиусах в каждом поясе резервуара.

Измерение координат точек резервуара проводят:

а) в нижнем сечении — для 1-го пояса;

б) в нижнем и верхнем сечениях — для остальных поясов.

Нижнее и верхнее сечения находятся в плоскостях, отходящих от сварного шва на величину, равную 1/5 высоты пояса (рисунок А.5).

Определение внутренних диаметров поясов резервуара проводят в следующей последовательности.

11.3.1 Штатив приводят в рабочее положение, устанавливают на него тахеометр, проводят необходимые операции по подготовке к работе в соответствии с руководством по эксплуатации. Рекомендуемая высота установки для удобства выполнения измерений — 1600—1700 мм от днища резервуара до визирной линии тахеометра.

11.3.2 Проводят установку станции съемки и высотную привязку, для этого:

а) устанавливают станцию съемки в области центра резервуара, при этом место установки выбирают с учетом стабильного позиционирования прибора (отсутствие хлопуна). Для резервуара с центральной стойкой станцию съемки устанавливают со смещением 1000—1500 мм от стойки;

б) тахеометр горизонтируют с помощью трегеров в соответствии с его технической документацией. Устанавливают безотражательный режим измерений с отображением: наклонного расстояния *SD*, зенитного угла V_z, горизонтального угла H_z (параметры *SD*, V_z, H_z, рисунок А.6);

в) измеряют рулеткой с грузом высоту установки тахеометра $H_{инст}$, мм, и вводят в меню настроек как высоту установки инструмента (рисунок А.6);

г) устанавливают начало отсчета в горизонтальной плоскости, для этого направляют сетку нитей оптической трубы тахеометра (далее — визир тахеометра) по нормали к цилиндрической стенке резервуара (точка 0, рисунок А.8) и ориентируют горизонтальный круг (в меню настроек значение горизонтального угла устанавливают H_z = 0°00′00″).

11.3.3 Внутренний диаметр 1-го пояса резервуара D_1 определяют по результатам измерений координат точек внутренней поверхности пояса резервуара, лежащих на пересечении радиусов резервуара в верхнем сечении пояса. Число радиусов, в зависимости от номинальной вместимости резервуара, принимают по таблице 7.

11.3.3.1 Перед началом измерений в файле проекта именуют (маркируют) серию измерений и нумеруют начальную точку измерений. В меню настроек устанавливают формат приращения (+1; +10…) номера точки следующего измерения.

Примечания

1 Термин «радиус» носит условный характер и не соответствует геометрическому радиусу резервуара.

2 Наименование (маркировка) серии измерений должно быть интуитивно понятным и кратким, характеризующим измеряемый (определяемый) параметр. Например, <……1> <d1роу>.

3 Рекомендуется привести в табличной форме перечень именованных обозначений с указанием измеряемых (определяемых) параметров с соответствующими пояснениями для дальнейшей обработки в ПО расчета градуировочных таблиц.

11.3.3.2 Направляют визирную ось тахеометра на точку пересечения 0-го радиуса (№ 0, рисунок А.8) и верхнего сечения 1-го пояса (рисунок А.7). Проводят измерение координаты точки — параметры: $l^1_{0в}$, мм, как наклонное расстояние, $l^1_{0в}$, deg°m′s″, как угол (зенитный угол) наклона линии измерений к вертикальной оси резервуара (рисунок А.7).

Результаты измерений автоматически вносятся в файл проекта со своей маркой и номером точки.

11.3.3.3 При фиксированном положении алидады в горизонтальной плоскости (горизонтального круга) алидаду поворачивают в вертикальной плоскости на следующее сечение и проводят измерения координаты точки в нижнем сечении 2-го пояса — параметры: $l^2_{0н}$, мм, как наклонное расстояние, $V^2_{0н}$, deg°m's", как угол (зенитный угол) наклона линии измерений к вертикальной оси резервуара (рисунок А.7).

Результаты измерений автоматически вносятся в файл проекта со своей маркой и номером точки.

11.3.3.4 Проводят аналогичные операции по 11.3.3.3 на остальных сечениях поясов на нулевом радиусе.

11.3.4 Поворачивают алидаду в горизонтальной плоскости по часовой стрелке на угол φ и проводят измерения на радиусе № 1 (№ 1 рисунок А.8) параметров: $l^1_{1в}$, $V^1_{1в}$ и горизонтального угла $\varphi^1_{1в}$, deg°m's", выполняя операции, аналогичные операции по 11.3.3.2—11.3.3.4.

Значение угла φ принимают по таблице 7.

Если точка измерений попадает на вертикальный сварной шов листа стенки резервуара, внутреннюю деталь, ребро жесткости и т. п., то точку измерений смещают в горизонтальной плоскости.

Примечание — В общем виде обозначение параметров следующее: «$l^k_{m в/н}$, $V^k_{m в/н}$, $\varphi^k_{m в/н}$», где «*k*» — номер пояса; «*m*» — номер радиуса, «в/н» — верхнее/нижнее сечение пояса.

11.3.5 Последовательно поворачивая алидаду в горизонтальной плоскости по часовой стрелке на угол φ, проводят аналогичные измерения параметров на радиусах № 2, № 3 и т. д.

Таблица 7

Наименование показателя	Значение показателя для вместимости резервуара, м^3						
	от 100 до 3000 включ.	св. 3000 до 10 000 включ	св. 10 000 до 20 000 включ.	св. 20 000 до 30 000 включ.	св. 30 000 до 50 000 включ.	св. 50 000 до 100 000 включ.	св. 100 000
Число образующих *N* (радиусов)	10	12	16	20	24	30	36
Угол φ	36°	30°	22°30'	18°	15°	12°	10°

11.3.6 Для резервуаров с плавающим покрытием (понтон, плавающая крыша) определяют внутренние диаметры, начиная со 2-го пояса (рисунок А.9), проводя аналогичные операции по 11.3.3—11.3.5.

Окружность 1-го пояса определяют методом наружных измерений по результатам измерений длины окружности 1-го пояса с учетом толщины его стенки по 13.3.

Примечание — По условиям 6.3.5 резервуар при первичной калибровке должен быть порожним и опоры плавающего покрытия должны находиться в ремонтном положении, при периодической калибровке — до минимально допустимого уровня. Если условия не выполняются, то определение поясов резервуара проводят методом наружных измерений по 13.4.

11.3.7 Результаты измерений параметров $l^k_{m в/н}$, $V^k_{m в/н}$, $\varphi^k_{m в/н}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.6), на основании данных из соответствующего файла проекта ПО тахеометра.

11.4 Измерения высоты поясов резервуара

11.4.1 Высоты поясов резервуара h_k измеряют со станции установки тахеометра: точка $0(x_A; y_A)$ (рисунок А.7) или точка $0_1(x_A; y_A)$ (рисунок А.9) на радиусе № 0 и противоположном ему радиусе № (*N*/2), где *N* — число радиусов, принимаемое по таблице 7 (рисунок А.8).

Измерения проводят в безотражательном режиме с установкой отображения параметров *HD*, *h*, H_z (рисунок А.6).

Именуют (маркируют) серию измерений аналогично 11.3.3.1.

11.4.2 Высоту первого пояса h_1 измеряют с применением измерительной рулетки с грузом (см. 6.2.1.2) как расстояние по вертикали вдоль стенки резервуара от точки касания днища грузом рулетки до середины сварного шва 1-го и 2-го поясов.

Измерение проводят не менее двух раз. Расхождение между результатами измерений должно быть не менее 2 мм. Вычисляют среднее арифметическое значение и округляют его до целого миллиметра по правилам округления.

11.4.3 Направляют сетку нитей визира тахеометра на середину сварного шва соединения верхней границы 1-го пояса и нижней границы 2-го пояса (рисунок А.10). Измеряют высоту превышения как расстояние по вертикали th_1, мм, (параметр h на дисплее).

11.4.4 Направляют сетку нитей визира тахеометра на середину сварного шва соединения верхней границы 2-го пояса и нижней границы 3-го пояса. Измеряют расстояние высоту превышения как расстояние по вертикали th_2, мм.

11.4.5 Проводя аналогичные процедуры по 11.4.3, 11.4.4, измеряют расстояния th_3,…,th_k, мм, вышестоящих поясов.

Измерения проводят не менее двух раз, показания считывают с точностью 1 мм.

11.4.6 Аналогичные измерений проводят на противоположном радиусе $m = (N/2)$.

11.4.7 Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.7).

11.5 Определение параметров «мертвой» полости резервуара

При определении параметров «мертвой» полости резервуара проводят следующие измерения:

а) координат точек поверхности днища;

б) высоты «мертвой» полости;

в) координаты точки касания днища грузом рулетки.

11.5.1 Измерения координат точек поверхности днища

Определение координат поверхности днища $(\Delta V_{НД})_0$ проводят с применением тахеометра и вехи с призменным отражателем путем измерений координат точек неровностей днища.

Измерения проводят со станции установки тахеометра $0(x_A; y_A)$ (рисунки А.7, А.10, А.11) в восьми равноудаленных точках на радиусах резервуара (рисунок А.11).

Число радиусов, в зависимости от номинальной вместимости резервуара, указано по таблице 7.

Операции измерений проводят в следующей последовательности.

11.5.1.1 Веху с призменным отражателем (рисунок А.12) приводят в рабочее положение. Измеряют рулеткой с грузом высоту призменного отражателя th (рисунок А.6).

В меню настроек тахеометра вводят высоту призмы th, константу призмы (при необходимости), устанавливают отражательный режим измерений и формат отображения параметров HD, h, H_z (рисунок А.6). Именуют (маркируют) серию измерений.

11.5.1.2 Ориентируют визирную ось тахеометра на радиус № 0 (H_z = 0°00'00"), включают лазерный указатель тахеометра.

11.5.1.3 Устанавливают веху с призменным отражателем (далее — веха) в точку пересечения днища и стенки резервуара и совмещают центр призмы с лазерным указателем (точка $P_{8,0}$, рисунок А.13). Вертикальное положение вехи обеспечивают по пузырьковому уровню вехи (рисунок А.12). Проводят измерение параметров $l_{8,0}$ $h_{8,0}$ как горизонтальное проложение и высоту превышения соответственно.

11.5.1.4 Переустанавливают веху на следующую точку измерений на расстоянии, равном 1/8 измеренного значения $l_{8,0}$. Контроль установки вехи проводят по лазерному указателю тахеометра и пузырьковому уровню.

Проводят измерения параметров $l_{7,0}$, $h_{7,0}$ в точке $P_{7,0}$ (рисунок А.11).

Примечание — Обеспечение точного расстояния между точками измерений, равного 1/8, ввиду трудоемкости позиционирования вехи, не требуется.

11.5.1.5 Проводят измерения параметров $l_{i,0}$, $h_{i,0}$ в остальных шести точках измерений аналогично 11.5.1.4.

11.5.1.6 После завершения измерений координат точек на радиусе № 0, алидаду тахеометра поворачивают в горизонтальной плоскости по часовой стрелке на угол φ, значение которого приведено в таблице 7.

Проводят измерения координат точек неровностей днища $l_{i,1}$, $h_{i,1}$ на радиусе № 1 аналогично 11.5.1.3—11.5.1.5.

11.5.1.7 Проводя аналогичные процедуры по 11.5.1.6, измеряют параметры точек неровностей днища $l_{i,m}$, $h_{i,m}$ на остальных радиусах.

Примечания

1 В обозначении параметров $l_{i,m}$, $h_{i,m}$ символ i указывает номер точки измерений; m — номер радиуса.

2 Маркировку точек рекомендуется проводить для каждого радиуса (например, <1> <$dn0$…m>).

3 Для успешной обработки результатов измерений число точек измерений на всех радиусах должно быть одинаковым.

11.5.1.8 Результаты измерений фиксируют в файле проекта и вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.8).

11.5.2 Измерение высоты «мертвой» полости

Перед началом измерений высоты «мертвой» полости, при наличии нескольких приемо-раздаточных патрубков (устройств), уточняют (по технической документации, информации собственника резервуара и т. п.) расположение приемо-раздаточного патрубка (устройства), предназначенного для слива продукта. При отсутствии данной информации измерения высоты «мертвой» полости проводят по патрубку (устройству), наиболее близко расположенному к днищу резервуара.

Измерение высоты «мертвой» полости резервуара проводят с применением тахеометра в отражательном режиме измерений и вехи с точки установки станции $0(x_A; y_A)$ в следующей последовательности:

а) устанавливают веху на плоскость среза приемо-раздаточного устройства (ПРУ) или приемо-раздаточного патрубка (ПРП). Направляют сетку нитей визира на центр призмы и измеряют расстояние $th_{МП}$, мм, как высоту превышения (рисунок А.14).

Измерения проводят два раза, расхождение между результатами измерений должно быть не более 1 мм;

б) измеряют угол $\varphi_{МП}$, deg°, между радиусом № 0 и плоскостью (рисунок А.15), проходящую через продольные оси ПРП (ПРУ), определяют с погрешностью не более ±1°.

Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (графы 5, 6 таблицы Б.9).

11.5.3 Определение координат точки касания днища грузом рулетки

Определение координат точки касания днища грузом рулетки измеряют с применением тахеометра в отражательном режиме измерений с форматом отображения данных *HD*, *h*, H_z (рисунок А.6) и вехи в следующей последовательности.

Устанавливают веху в точку касания днища грузом рулетки $b_л$, контролируя вертикальное положение по пузырьковому уровню вехи. Наводят сетку нитей визира в центр призменного отражателя и измеряют высоту превышения $b_л$, горизонтальное проложение $l_п$ (рисунок А.14) и горизонтальный угол $\varphi_п$.

Измерения проводят два раза, высоту превышения $b_л$, мм, горизонтальное проложение $l_п$, мм, считывают с точностью до 1 мм, расхождение между результатами измерений должно быть не более 1 мм, угол $\varphi_п$ считывают до секунды.

Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (графы 2, 3, 4 таблицы Б.9).

11.6 Определение объемов внутренних деталей

Объемы внутренних деталей, опор плавающего покрытия, влияющих на вместимость (люк-лаз, мешалки, оборудование, незаполненное продуктом и т. д.), находящихся в резервуаре, определяют по данным технической документации или по данным измерений геометрических параметров внутренних деталей с указанием их расположения по высоте $h^н_{ВД}$, $h^в_{ВД}$ (рисунок А.14), линейного расстояния $l_{ВД}$, как горизонтальное проложение, от точки установки станции $0(x_A; y_A)$, угла $\varphi_{ВД}$ между радиусом № 0 и осью детали (рисунок А.15), длины наружной окружности детали (для цилиндрической) или объема (для иной формы).

Результаты измерений величин вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.10).

12 Проведение калибровки методом внутренних измерений с применением сканера

12.1 Внешний осмотр

12.1.1 При внешнем осмотре резервуара проверяют:

- соответствие конструкции и внутренних деталей резервуара технической документации на него (паспорту, технологической карте на резервуар);
- наличие необходимой арматуры и оборудования;
- исправность лестниц и перил;
- чистоту внутренней поверхности резервуара.

12.1.2 Определяют перечень внутренних деталей, оборудования, влияющих (не влияющих) на вместимость резервуара, например заполненные продуктом трубопроводы, тумбы пригруза, неперфорированные

колонны, герметичные стойки плавающего покрытия и т. д. и фиксируют их в копии технического проекта для дальнейшего включения или исключения их из расчета.

12.1.3 Отмечают мелом точку касания днища грузом рулетки и устанавливают в ней сферическую марку (рисунок А.1).

12.2 Измерение базовой высоты резервуара

12.2.1 Базовую высоту резервуара H_6 измеряют рулеткой с грузом не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно превышать 2 мм.

Проводят аналогичные операции по 11.2.

12.2.2 Результаты измерений базовой высоты H_6 вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.3).

12.3 Сканирование внутренней полости резервуара

При проведении сканирования внутренней полости резервуара проводят следующие операции.

12.3.1 Подготавливают сканер к работе в соответствии с требованиями его технической документации.

Прибор горизонтируют с применением трегера, с дальнейшим контролем электронным встроенным уровнем (при наличии).

12.3.2 Определяют необходимое число станций сканирования и место их расположения, обеспечивающих исключение непросканированного пространства (теней).

Число станций должно быть не менее трех.

Схема размещения станций должна обеспечить видимость с каждой станции сферической марки по 12.1.3 (рисунок А.16).

12.3.3 Сканирование проводят последовательно с каждой станции в режиме кругового обзора (360°). Дискретность сканирования устанавливают в пределах: от 3 до 5 мм.

12.3.4 Операции сканирования и взаимной привязки станций проводят в соответствии с требованиями технической документации на прибор и применяемого ПО.

Результаты измерений автоматически записываются в памяти процессора сканера в заранее сформированном файле.

12.4 Сканирование внутренней полости резервуара подкрышного (понтонного) пространства резервуаров с плавающим покрытием

Сканирование внутренней полости резервуара подкрышного (понтонного) пространства резервуаров с плавающей крышей проводят со станций сканирования, расположенных на днище резервуара в следующей последовательности.

12.4.1 Для резервуаров с плавающей крышей опускают рулетку с грузом по планке измерительного люка плавающей крыши до днища резервуара. В точке касания днища грузом рулетки устанавливают сферическую марку № 1 (см. 7, рисунок А.17).

12.4.2 В точку на днище резервуара, расположенную в секущей плоскости, проходящей через вертикальную ось резервуара и касательную к наружной стенке направляющей стойки плавающей крыши, устанавливают сферическую марку № 2 (см. 7, рисунок А.17).

12.4.3 Подготавливают сканер к работе по 12.3.1.

12.4.4 Определяют необходимое число станций сканирования и место их расположения, обеспечивающих минимальные зоны непросканированного пространства (теней).

Схема размещения станций должна обеспечить видимость с максимального количества станции сферических марок № 1 и № 2.

12.4.5 Сканирование проводят последовательно с каждой станции в режиме кругового обзора (360°). Дискретность сканирования устанавливают в пределах от 50 до 100 мм.

12.4.6 Проведение сканирования внутренней полости резервуара подпонтонного пространства резервуаров с понтоном проводят в следующей последовательности.

12.4.7 В точку на днище резервуара, расположенную в секущей плоскости, проходящей через вертикальную ось резервуара и касательную к наружной стенке направляющей стойки понтона, устанавливают сферическую марку № 1 (см. 7, рисунок А.17).

12.4.8 В центр днища резервуара устанавливают сферическую марку № 2 (см. 10 рисунок А.17).

12.4.9 Проводят аналогичные операции по 12.3.2—12.3.4.

12.4.10 Результаты измерений автоматически записываются в соответствующий файл.

12.5 Сканирование внутренней полости надкрышного (понтонного) пространства резервуаров с плавающим покрытием

12.5.1 Сканирование внутренней полости резервуара надкрышного пространства резервуаров с плавающей крышей проводят в следующей последовательности.

12.5.2 В точку на плавающей крыше, расположенную в секущей плоскости, проходящей через вертикальную ось резервуара и касательную к наружной стенке направляющей стойки плавающей крыши, устанавливают сферическую марку № 1 (см. *6*, рисунок А.17).

12.5.3 На верхний фланец измерительного люка плавающей крыши устанавливают сферическую марку № 2 (см. *6*, рисунок А.17).

12.5.4 На перилах кольцевого балкона ветрового кольца резервуара устанавливают равномерно по периметру не менее трех сферических марок (см. *9*, рисунок А.17).

12.5.5 Определяют необходимое число станций сканирования и места их расположения на ветровом кольце, обеспечивающие видимость с каждой станции не менее трех марок, в том числе и марку № 2.

12.5.6 Сканирование проводят последовательно с каждой станции в режиме кругового обзора. Дискретность сканирования устанавливают в пределах от 50 до 100 мм.

12.5.7 Проведение сканирования внутренней полости резервуара надпонтонного пространства резервуаров с понтоном проводят в следующей последовательности.

12.5.8 В точку на понтоне, расположенную в секущей плоскости, проходящей через вертикальную ось резервуара, и касательную к наружной стенке направляющей стойки понтона крыши, устанавливают сферическую марку № 1 (см. *6*, рисунок А.17).

12.5.9 В центр понтона устанавливают сферическую марку № 2 (см. *10*, рисунок А.17).

12.5.10 Проводят аналогичные операции по 12.4.

12.5.11 Результаты измерений автоматически записываются в соответствующий файл.

13 Проведение калибровки методом наружных измерений с применением тахеометра

Метод наружных измерений применяют при проведении периодической калибровки резервуаров [за исключением типов РВС(Т), РВС(ЗС)] при отсутствии возможности применения внутреннего метода.

С целью сокращения времени проведение операций измерений радиальных отклонений, определения степени наклона, измерения высот поясов можно совместить.

13.1 Внешний осмотр

13.1.1 При внешнем осмотре резервуара проверяют:

- состояние наружной поверхности стенки резервуара (на отсутствие деформаций стенки, загрязнений, на наличие необходимых арматуры и оборудования);
- исправность лестниц и перил;
- состояние отмостки резервуара (отсутствие трещин и целостность);
- очистку от грунта утор окраек днища (далее — утор) резервуара.

13.1.2 Формируют плоскость А, проходящую через вертикальную ось резервуара и центр измерительного люка. Для этого опускают рулетку с грузом по цилиндрической стенке до утора резервуара (рисунок А.18). Наносят мелом вертикальную отметку на цилиндрической стенке резервуара и нумеруют цифрой 0 (образующая № 0).

13.1.3 Определяют индекс нахлеста в соответствии со схемой монтажа поясов (рисунок А.26). Индекс нахлеста поясов вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.14).

13.2 Измерение базовой высоты резервуара

13.2.1 Базовую высоту резервуара $H_б$ измеряют рулеткой с грузом не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно превышать 2 мм.

Проводят аналогичные операции по 11.2.

13.2.2 Результаты измерений базовой высоты $H_б$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.3).

13.3 Измерения длины окружности первого пояса

13.3.1 Длину наружной окружности первого пояса $L_н$, мм, измеряют на высоте, равной:

- 3/4 высоты 1-го пояса — при высоте пояса от 1500 до 2250 мм;
- 1800 мм — при высоте пояса 3000 мм.

Перед началом измерений проводят обход по периметру пояса с целью определения деталей, мешающих проведению измерений на данной высоте (наличие люка-лаза; системы пожаротушения и т. п.). При наличии таких деталей допускается уменьшать высоту на величину в пределах до 300 мм от отметки 3/4 высоты 1-го пояса или 1800 мм.

13.3.2 Проводят разметку горизонтальной плоскости, для чего на высоте, указанной в 13.3.1, через каждые 5 м наносят горизонтальные отметки на стенке резервуара (см. 4, рисунок А.19).

13.3.3 Укладывают рулетку по нанесенной разметке.

13.3.4 Начало отсчета длины окружности выбирают на образующей № 0 по 13.1.2 и отмечают двумя взаимно перпендикулярными штрихами.

13.3.5 Начало ленты рулетки укладывают нижней кромкой по горизонтальному штриху и начальную отметку шкалы рулетки совмещают вертикальным штрихом начала отсчета.

13.3.6 При выполнении измерений лента рулетки должна быть натянута, плотно прилегать к стенке резервуара, не перекручиваться и лежать нижней кромкой на горизонтальных штрихах.

13.3.7 Натяжение рулетки контролируют при помощи динамометра усилием:

(100 ± 10) Н — для рулеток длиной 10 м и более;

(10 ± 1) Н — для рулеток длиной 1—5 м;

без натяжения — для рулеток с желобчатой лентой.

13.3.8 После создания необходимого натяжения против конечной отметки шкалы рулетки на стене резервуара отмечают вертикальный штрих, а по нижней кромке ленты — горизонтальный.

13.3.9 Последующие укладки рулетки проводят в том же порядке. Число укладок ленты n вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (графа 4 таблицы Б.9).

13.3.10 При измерениях контролируют, чтобы начало шкалы рулетки совпало с конечным штрихом предыдущей укладки.

13.3.11 Длину наружной окружности $L_н$, мм, измеряют не менее двух раз.

13.3.12 Начальную точку второго измерения смещают по горизонтали от начала первого не менее чем на 500 мм.

13.3.13 Относительное расхождение между результатами двух измерений длины окружности $\delta L_н$, %, вычисляют по формуле

$$\delta L_н = 2 \cdot \frac{L_{н1} - L_{н2}}{L_{н1} + L_{н2}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $L_{н1}$, $L_{н2}$ — результаты измерений при 1-м и 2-м измерении соответственно, мм.

Оно должно находиться в пределах ± 0,01 %.

13.3.14 При расхождении, превышающем указанное в 13.3.13, измерения следует повторять до получения двух последовательных измерений, удовлетворяющих условию 13.3.13.

13.3.15 Результаты двух измерений величины $L_н$, удовлетворяющих условию 13.3.13, вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (графа 2, таблицы Б.9).

13.3.16 При измерениях длины окружности резервуара учитывают поправки на ее увеличение при наложении рулетки на вертикальные сварные соединения, накладки и другие выступающие детали во всех случаях, если между лентой рулетки и стенкой резервуара имеется зазор.

13.3.17 Поправку на длину окружности $\Delta l_{обхj}$ 1-го пояса резервуара при наложении рулетки на вертикальные сварные соединения, накладки и другие выступающие детали (далее — поправка на обход) определяют при помощи металлических скоб длиной 600—1000 мм (рисунок А.20).

Выступающую часть на высоте измерений длины окружности 1-го пояса перекрывают скобой и на стенке резервуара у обоих концов скобы наносят штрихи. Затем, плотно прижимая ленту рулетки к стенке резервуара, измеряют длину дуги, находящуюся между этими штрихами.

Скобу переносят на свободное от выступающих деталей место на том же уровне 1-го пояса, отмечают штрихами и измеряют расстояние между ними рулеткой, плотно прижимая ленту рулетки к стенке резервуара. Разность между результатами первого и второго измерений длины дуги — значение поправки на обход, которое учитывают при вычислении длины окружности 1-го пояса.

Значение поправок $\sum \Delta l_{обхj}$ (суммарных при наличии двух и более) на обход в миллиметрах вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (графа 3, таблицы Б.11).

13.4 Измерения радиальных отклонений образующих резервуара от вертикали

Радиальные отклонения образующих резервуара (далее — радиальные отклонения) измеряют с применением тахеометра в сечениях, расположенных:

- в плоскости измерений длины окружности — для 1-го пояса;
- в плоскостях на расстоянии ниже/выше 200—300 мм от сварного шва — для вышестоящих поясов.

Операции измерений проводят в следующей последовательности.

13.4.1 Окружность 1-го пояса резервуара, измеренную по 13.3, разбивают на равные части (откладывают дугу постоянной длины и наносят вертикальные отметки на стенке 1-го пояса).

Разбивку начинают с образующей резервуара № 0, находящейся в плоскости А (рисунок А.18), с соблюдением следующих условий:

- число разбивок должно быть четным;
- число разбивок в зависимости от вместимости резервуара выбирают по таблице 7.

Все отметки разбивок пронумеровывают по часовой стрелке в соответствии с рисунком А.19.

13.4.2 Приводят тахеометр в рабочее состояние, устанавливают безотражательный режим измерений и формат отображения параметров *HD*, *h*, H_z (рисунок А.6).

Именуют (маркируют) серию измерений в зависимости от текущего номера образующей.

13.4.3 Устанавливают тахеометр по нормали к 0-й образующей на расстоянии одной-двух высот резервуара с учетом реальных условий расположения резервуара (наличие обвалования, технологических трубопроводов и т. д.), фиксируют горизонтальный круг алидады тахеометра.

Предварительный контроль позиционирования визирной линии по нормали к стенке резервуара проводят по сетке нитей визира, направленной на сварной шов 1-го и 2-го поясов. Поворотом алидады тахеометра в горизонтальной плоскости обеспечивают симметричность изображения сварного шва относительно вертикальной линии визира (рисунок А.21).

Проводят контрольные измерения горизонтального проложения вправо/влево. Нормаль (перпендикуляр) визирной линии — наименьшее измеренное расстояние.

Примечания

1 Ввиду трудоемкости точного позиционирования станции съемки на образующей допускается смещение линии визирования вправо/влево до 300 мм.

2 В случае расположения образующей на вертикальных сварных швах поясов ее смещают вправо/влево до 300 мм.

13.4.4 Сетку нитей визира тахеометра наводят в точку пересечения горизонтальной плоскости измерения длины окружности 1-го пояса и образующей № 0. Измеряют расстояние $a_{1.0}$ как горизонтальное проложение *HD* (рисунок А.22).

13.4.5 Устанавливают точку измерений в нижнем сечении 2-го пояса.

Поворачивают алидаду тахеометра в вертикальной плоскости и наводят сетку нитей визира тахеометра на точку, смещенную от сварного шва 1-го и 2-го поясов на 200—300 мм (рисунок А.23). Измеряют расстояние $a_{2.0н}$ как горизонтальное проложение (рисунок А.22).

13.4.6 Устанавливают точку измерений в верхнем сечении 2-го пояса.

Поворачивают алидаду тахеометра в вертикальной плоскости и наводят сетку нитей визира тахеометра на точку смещенную от сварного шва 2-го и 3-го поясов на 200—300 мм. Измеряют расстояние $a_{2.0в}$ как горизонтальное проложение.

13.4.7 Проводят аналогичные измерения на остальных поясах резервуара на нулевой образующей.

13.4.8 Переустанавливают тахеометр по нормали к следующей образующей и проводят аналогичные операции измерений параметров $a_{k\,тн/в}$ по 13.4.3—13.4.7 на следующей и остальных образующих резервуара.

13.4.9 Результаты измерений $a_{k.тн/в}$ автоматически записываются в файле проекта, и далее их вносят в протокол Б (таблица Б.12).

13.5 Определение степени наклона резервуара

Степень наклона η и угол направления наклона φ резервуара определяют по результатам измерений превышений высот контура днища резервуара на образующих с применением тахеометра и вехи с призменным отражателем (рисунок А.24).

Измерения проводят в следующей последовательности.

13.5.1 Станцию съемки позиционируют напротив образующей № 0 на расстоянии одной-двух высот резервуара, приводят тахеометр в рабочее положение, именуют (маркируют) серию измерений.

Устанавливают отражательный режим измерений с форматом отображения *HD*, *h*, H_z (рисунок А.6).

Примечание — Высоту установки инструмента в меню настроек тахеометра не вводят, так как целью измерений является определение разности высот в условной системе координат.

13.5.2 Веху с призменным отражателем устанавливают в точку на уторе днища, находящуюся на пересечении образующей и окрайки днища.

Контроль вертикальности позиционирования вехи проводят по пузырьковому уровню вехи.

13.5.3 Наводят сетку нитей визира тахеометра в центр призмы и измеряют высоту l_0, мм, как высоту превышения (рисунок А.24), мм;

13.5.4 Устанавливают веху в точку на уторе днища, находящуюся на пересечении образующей № 1 и окрайки днища, и проводят измерения высоты l_1, мм, аналогично 13.5.3.

13.5.5 Последовательно переставляя веху на следующие образующие в секторе видимости, измеряют высоты превышения l_m, мм.

Примечание — Ввиду того, что результаты измерений автоматически записываются в файле проекта, рекомендуется записать на бумажный носитель последнее измеренное значение l_m для дальнейшей высотной привязки после переустановки станции съемки.

13.5.6 Переустанавливают станцию съемки (см. 2, рисунок А.24), обеспечив видимость образующей № m с предыдущей станции съемки.

Проводят высотную привязку установки новой станции съемки к предыдущей станции в следующей последовательности:

а) устанавливают веху в последнюю точку измерений с предыдущей станции (точка № m, рисунок А.24) и измеряют высоту превышения l'_m, мм;

б) в меню настроек тахеометра вводят новое значение высоты установки инструмента $H'_{инст}$, вычисляемое по формуле

$$H'_{инст} = H_{инст} - (l'_m - l_m). \quad (2)$$

где $H_{инст}$ — текущее значение высоты установки инструмента, мм;

l'_m, l_m — измеренные значения высот на образующей № m с новой и предыдущей станции съемки соответственно, мм;

в) проводят контрольное измерение высоты l'_m, которая должна быть равна l_m.

13.5.7 Проводят аналогичные операции измерений на последующих образующих по 13.5.2—13.5.6.

13.5.8 Результаты измерений автоматически записываются в файле проекта, и их вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.13).

13.6 Измерения высоты поясов и толщины стенок

13.6.1 Высоту поясов h_k определяют по результатам превышений высот th_k с наружной стороны резервуара вдоль образующей резервуара № 0, находящейся в плоскости А (рисунок А.25) и на противоположной образующей № (N/2) (где N — число образующих, принимаемое по таблице 7).

Измерения высоты превышения нижней границы 1-го пояса проводят в отражательном режиме с применением вехи с призменным отражателем в формате HD, h, H_z (рисунок А.6).

Последующие измерения проводят в безотражательном режиме.

13.6.2 Устанавливают веху на уторный шов резервуара по образующей № 0 и измеряют высоту превышения th_0 (рисунок А.25).

13.6.3 Направляют сетку нитей визира тахеометра на середину сварного шва соединения верхней границы 1-го пояса и нижней границы 2-го пояса. Измеряют высоту превышения th_1, мм.

13.6.4 Направляют сетку нитей визира тахеометра на середину сварного шва соединения верхней границы 2-го пояса и нижней границы 3-го пояса. Измеряют расстояние высоты превышения как расстояние по вертикали th_2, мм.

13.6.5 Проводя аналогичные процедуры, измеряют расстояния th_3...th_k, мм, вышестоящих поясов.

13.6.6 Измерения на противоположной образующей проводят аналогично.

13.6.7 Толщину стенок поясов резервуара δ_k, слоя краски $\delta_{с.к}$ и антикоррозионного покрытия $\delta_{с.п}$ измеряют с помощью ультразвукового толщиномера с погрешностью в пределах ±0,1 мм.

13.6.7.1 Измерения проводят с наружной лестницы подъема на кровлю резервуара или подъема на ветровое кольцо резервуара (РВСПК).

Проводят не менее двух измерений, расхождение между результатами измерений должно находиться в пределах ±0,2 мм.

13.6.7.2 При невозможности проведения измерений (большое расстояние между лестницей и стенкой резервуара) значения толщин стенок принимают по технической документации резервуара; толщины слоя краски и антикоррозионного покрытия принимают равным 0,3 мм.

13.6.7.3 Результаты измерений величин th_k, δ_k, $\delta_{с.к}$, $\delta_{с.п}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.14).

13.7 Определение параметров «мертвой» полости резервуара

13.7.1 Определение параметров «мертвой» полости резервуара проводят по результатам измерений аналогично 11.5.

13.7.2 Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблицы Б.8, Б.9).

13.8 Определение объемов внутренних деталей

Определение объемов внутренних деталей проводят аналогично 11.6.

Результаты измерений величин вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.10).

14 Проведение калибровки методом наружных измерений с применением сканера

Метод наружных измерений применяют при проведении первичной калибровки резервуаров РВСП, РВСПК, периодической или внеочередной калибровки резервуаров [за исключением типов РВС(Т), РВС(ЗС), РВС(К)].

14.1 Внешний осмотр

14.1.1 При внешнем осмотре резервуара проверяют:

- соответствие конструкции и внешних деталей резервуара технической документации на него (паспорт, технологическая карта на резервуар);
- исправность лестниц и перил;
- чистоту наружной поверхности резервуара, отсутствие подтеков продукта.

14.1.2 Определяют перечень наружных деталей, оборудования и фиксируют их в копии технического проекта для дальнейшего исключения их из расчета.

14.1.3 Формируют плоскость А (рисунок А.18), для чего опускают рулетку с грузом по цилиндрической стенке до утора резервуара. Отмечают мелом точку касания и устанавливают в ней сферическую марку № 0.

14.1.4 Определяют индекс нахлеста в соответствии со схемой монтажа поясов (рисунок А.26). Индекс нахлеста поясов вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.14).

14.2 Измерение базовой высоты резервуара

14.2.1 Базовую высоту резервуара $H_б$ измеряют рулеткой с грузом не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно превышать 2 мм.

Проводят аналогичные операции по 11.2.

14.2.2 Результаты измерений базовой высоты $H_б$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.3).

14.3 Сканирование наружной поверхности резервуара

Сканирование наружной поверхности резервуара проводят в следующей последовательности.

14.3.1 Подготавливают сканер к работе в соответствии с требованиями его технической документации.

14.3.2 На перилах кольцевого ограждения кровли резервуара устанавливают равномерно по периметру не менее четырех сферических марок (рисунок А.27).

14.3.3 Определяют необходимое число станций сканирования и места их расположения, обеспечивающие видимость с каждой станции не менее двух марок, и не менее трех — в зоне видимости марки № 1 (по 11.5.1.3).

Примечание — Рекомендуется установка станций сканирования на расстоянии одной-двух высот резервуара (принимают по паспорту резервуара) до наружной поверхности стенки и в пределах 15—20 м между соседними станциями по периметру сканирования.

14.3.4 Сканирование проводят последовательно с каждой станции в режиме секторного обзора. Дискретность сканирования устанавливают в пределах от 50 до 100 мм.

14.3.5 При проведении сканирования РВСПК как составляющую операций калибровки, используют те же сферические марки, используемые по 11.3.4 (рисунок А.17).

14.3.6 Результаты измерений автоматически записываются в соответствующий файл.

14.4 Измерения высот поясов и толщины стенок

14.4.1 Измерения высот поясов и толщин стенок проводят с наружной лестницы подъема на кровлю резервуара или подъема на ветровое кольцо резервуара (РВСПК).

14.4.2 Высоту поясов h_k измеряют вдоль образующей № 0 резервуара при помощи измерительной рулетки с грузом (рисунок А.28).

Измерения проводят не менее двух раз, расхождение между результатами измерений должно быть не более 2 мм.

14.4.3 Толщину стенок поясов резервуара δ, слоя краски $\delta_{с.к}$ и антикоррозионного покрытия $\delta_{с.п}$ измеряют с помощью ультразвукового толщиномера с погрешностью в пределах ±0,1 мм. Проводят не менее двух измерений, расхождение между результатами измерений должно находиться в пределах ±0,2 мм, или его принимают равным указанному в технической документации.

При невозможности проведения измерений (большое расстояние между лестницей и стенкой резервуара) значение толщин стенок принимают по технической документации резервуара.

14.4.4 Результаты измерений величин h_k, δ, $\delta_{с.к}$, $\delta_{с.п}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.14).

15 Измерения прочих параметров резервуара

При наполнении резервуара продуктом его вместимость изменяется не только от уровня его наполнения, но и в результате деформации стенок от гидростатического давления столба налитой жидкости, а для резервуаров с плавающим покрытием дополнительно — за счет погружения части плавающего покрытия в жидкости.

С целью учета поправок к вместимости резервуара определяют следующие параметры:

а) плотность $\rho_{ж.г}$ и уровень $H_г$ жидкости, находящейся в резервуаре во время калибровки (градуировки);

б) плавающего покрытия — для резервуаров с плавающим покрытием, в том числе плотность хранимой жидкости для учета объема погруженной части (понтона, плавающей крыши);

в) для наполненного резервуара с плавающей крышей (РВСПК) измеряют высоту незаполненного пространства в измерительном люке плавающей крыши с целью вычисления объема ее погруженной части в жидкости.

15.1 Измерение плотности жидкости

15.1.1 Плотность жидкости $\rho_{ж.г}$, кг/м^3, находящейся в резервуаре во время калибровки, измеряют по ГОСТ 3900 в объединенной пробе жидкости, составленной из точечных проб, отобранных из резервуара в соответствии с ГОСТ 2517.

15.1.2 При отсутствии жидкости в резервуаре на момент калибровки вносят значение плотности хранимой жидкости $\rho_{ж.х}$, кг/м^3, для которой предназначен резервуар (графа 3 таблицы Б.15).

Примечания

1 Значение плотности жидкости $\rho_{ж.г}$, находящейся в резервуаре, используют для учета поправки к диаметру, деформированного (на момент проведения калибровки) за счет гидростатического давления столба жидкости, вычисляемой по формуле (Д.21), и объема погруженной части плавающего покрытия (понтона, плавающей крыши).

2 Значение плотности хранимой жидкости $\rho_{ж.х}$ используют в формуле (Д.59) для внесения поправки к вместимости пояса, за счет деформации стенок от гидростатического давления в зависимости от уровня его наполнения при эксплуатации резервуара.

15.1.3 Результат измерения величины $\rho_{ж.г}$ или $\rho_{ж.х}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.15).

15.2 Измерения уровня жидкости

15.2.1 Уровень жидкости $H_г$, мм, находящейся в резервуаре во время калибровки, измеряют при помощи измерительной рулетки с грузом или уровнемера.

15.2.2 Результат измерения величины $H_г$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (графа 1 таблицы Б.15).

15.3 Определение параметров плавающего покрытия

15.3.1 Массу плавающего покрытия $m_п$, диаметр плавающего покрытия $D_п$, отверстий в плавающем покрытии D_1, D_2,..., D_n, нижнее и верхнее положения плавающего покрытия $h_п^н$, $h_п^в$, параметры опор плавающего покрытия принимают по исполнительной документации.

Примечание — Параметры нижнего и верхнего положений плавающего покрытия и параметры опор принимают в рабочем положении плавающего покрытия.

15.3.2 При наполненном резервуаре РВСПК измеряют высоту нижней границы плавающей крыши $h_п^н$ рулеткой с грузом.

Высоту как расстояние по вертикали измеряют от днища резервуара или от точки касания днища грузом рулетки до нижней части плавающей крыши (двудечная конструкция) или до нижнего края поплавка.

15.3.3 Значения величин плавающего покрытия $m_п$, $D_п$, D_1, D_2,..., D_n, $h_п^н$, $h_п^в$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.16).

15.3.4 Значения величин понтона с поплавками цилиндрической формы $m_п$, $D_п$, D_1, D_2,..., D_n вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.17).

15.4 Измерение высоты газового пространства в измерительном люке плавающей крыши

15.4.1 Высоту незаполненного газового пространства $h_п^г$ измеряют при помощи измерительной рулетки с грузом или линейкой от фланца измерительного люка плавающей крыши (рисунок А.29).

Измерения проводят не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно превышать 1 мм.

15.4.2 Результаты измерений $h_п^г$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.18).

16 Обработка результатов измерений и составление градуировочной таблицы

16.1 Обработка результатов измерений

16.1.1 Обработку результатов измерений при калибровке с применением тахеометра проводят при применении:

- ПО расчета градуировочных таблиц — в соответствии с приложением Д;
- при построении трехмерной модели САПР — в соответствии с приложением Е.

16.1.2 Обработку результатов измерений при калибровке с применением сканера проводят в соответствии с приложением Ж.

16.1.3 Результаты вычислений вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Л.

16.2 Составление градуировочной таблицы резервуара

16.2.1 Градуировочную таблицу составляют с шагом ΔH = 1 см или шагом ΔH = 1 мм (при необходимости по согласованию с заказчиком), начиная с исходного уровня (уровня, соответствующего высоте «мертвой» полости $H_{МП}$) и до предельного уровня $H_{пр}$, равного суммарной высоте поясов резервуара.

16.2.2 Вместимость резервуара, соответствующую уровню жидкости H, $V(H)$ вычисляют при приведении:

- к стандартной температуре 15 °С — по формуле (Д.61);
- к стандартной температуре 20 °С — по формуле (Д.62).

Примечания

1 Значение температуры, к которой приведены данные градуировочной таблицы, согласовывают с заказчиком.

2 Значение температуры указано на титульном листе градуировочной таблицы.

16.2.3 На каждом уровне, начиная с высоты «мертвой» полости резервуара $H_{МП}$, вычисляют стандартную неопределенность вместимости резервуара:

- при обработке результатов измерений по приложению Д — по формуле (И.76) приложения И;
- при обработке результатов измерений по приложению Ж — по формуле (К.39) приложения К.

16.2.4 В пределах каждого пояса вычисляют коэффициент вместимости, равный вместимости, приходящейся на 1 мм высоты наполнения.

16.2.5 Градуировочную таблицу «мертвой» полости составляют, начиная от исходной точки до уровня $H_{МП}$, соответствующего высоте «мертвой» полости.

16.2.6 При составлении градуировочной таблицы значения вместимости округляют до 1 дм^3.

16.2.7 Обработку результатов измерений проводят с применением сертифицированного в установленном порядке программного обеспечения.

16.2.8 Результаты измерений должны быть оформлены протоколом, форма которого приведена в приложении Б, который является исходным документом для расчета градуировочной таблицы.

17 Оформление результатов калибровки

17.1 Результаты калибровки резервуара оформляют сертификатом калибровки.

17.2 К сертификату калибровки прикладывают:

а) градуировочную таблицу;

б) протокол (оригинал прикладывают к 1-му экземпляру градуировочной таблицы);

в) эскиз резервуара.

17.3 Форма титульного листа градуировочной таблицы и форма градуировочной таблицы приведены в приложении Г. Форма акта ежегодных измерений базовой высоты резервуара приведена в приложении В.

Протокол подписывает специалист по калибровке.

Подпись заверяют оттиском клейма о калибровке.

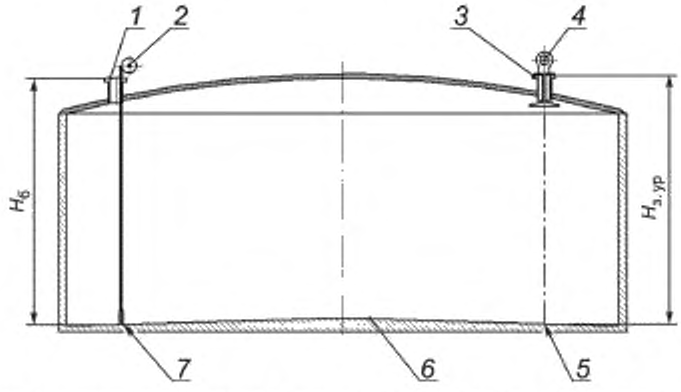
Титульный лист и последнюю страницу градуировочной таблицы подписывает специалист по калибровке, подпись заверяют оттиском клейма калибровки.

17.4 Градуировочную таблицу утверждает руководитель органа, аккредитованного на право проведения калибровки.

Приложение А
(справочное)

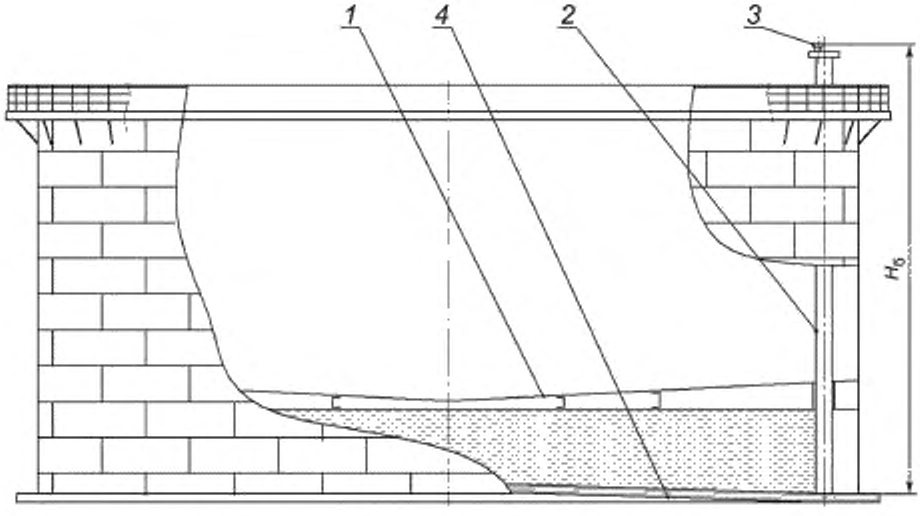
Схемы измерений и параметров измерений

А.1 Схемы измерений и параметров измерений при проведении калибровки с применением тахеометра и сканера приведены на рисунках А.1—А.29.



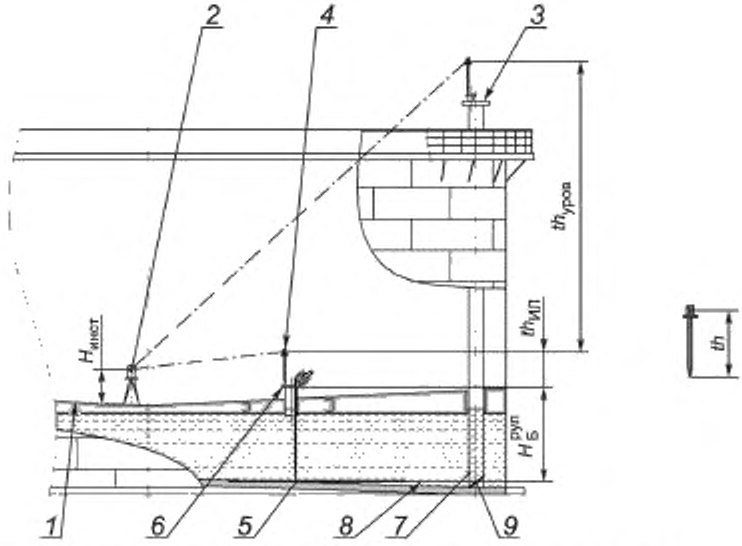
1 — измерительный люк; *2* — измерительная рулетка с грузом; *3* — фланец установки уровнемера; *4* — радарный уровнемер; *5* — проекция на днище оси уровнемера. *6* — днище резервуара; *7* — точка касания днища грузом рулетки

Рисунок А.1 — Схема измерения базовой высоты резервуара и эталонного расстояния уровнемера



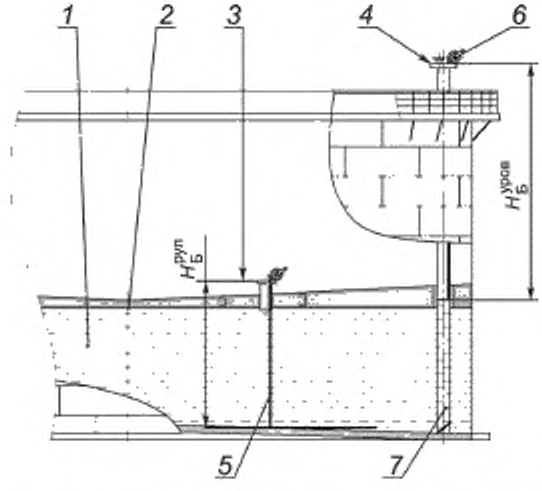
1 — плавающая крыша; *2* — направляющая стойка плавающей крыши;
3 — измерительный люк в направляющей стойке плавающей крыши; *4* — днище резервуара

Рисунок А.2 — Схема измерения базовой высоты в РВСПК



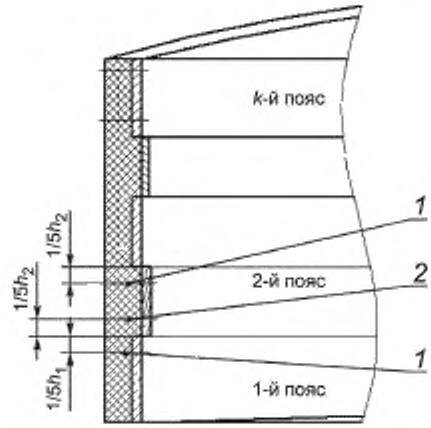
1 — плавающая крыша; *2* — тахеометр; *3* — фланец установки радарного уровнемера; *4* — веха с призменным отражателем; *5* — точка касания днища грузом рулетки измерительного люка плавающей крыши; *6* — фланец измерительного люка плавающей крыши; *7* — направляющая стойка плавающей крыши; *8* — плоскость начала отсчета; *9* — отбойная пластина (отражатель)

Рисунок А.3 — Схема измерения базовой высоты ненаполненного РВСПК, оборудованного радарным уровнемером с отражателем при отсутствии измерительного люка в направляющей стойке плавающей крыши



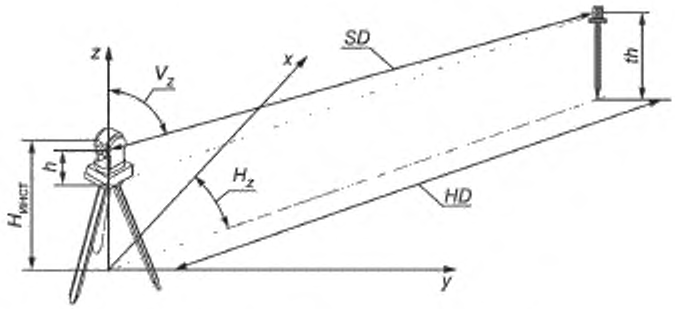
1 — жидкость, *2* — плавающая крыша; *3* — плоскость фланца измерительного люка на плавающей крыше; *4* — фланец установки радарного уровнемера; *5* — измерительная рулетка с грузом на фланце измерительного люка на плавающей крыше; *6* — измерительная рулетка с грузом на фланце уровнемера, *7* — отбойная пластина

Рисунок А.4 — Схема измерения базовой высоты наполненного РВСПК, оборудованного радарным уровнемером с отражателем при отсутствии измерительного люка в направляющей стойке плавающей крыши



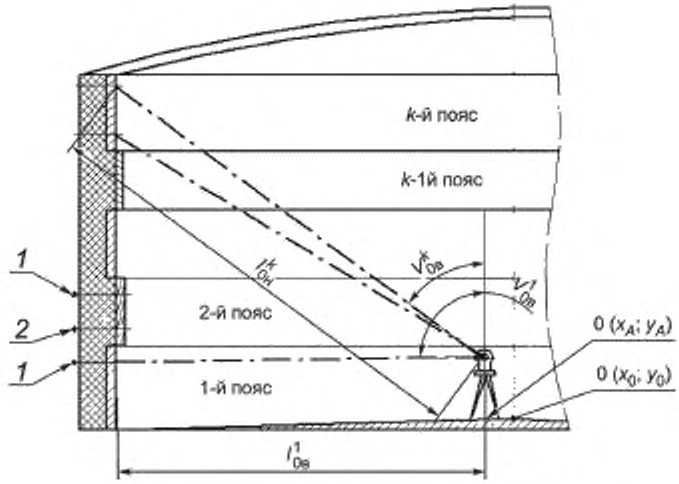
h_1, h_2 — высоты 1-го и 2-го поясов, *1* — нижнее сечение пояса; *2* — верхнее сечение пояса

Рисунок А.5 — Точки измерений координат точек внутренней поверхности резервуара



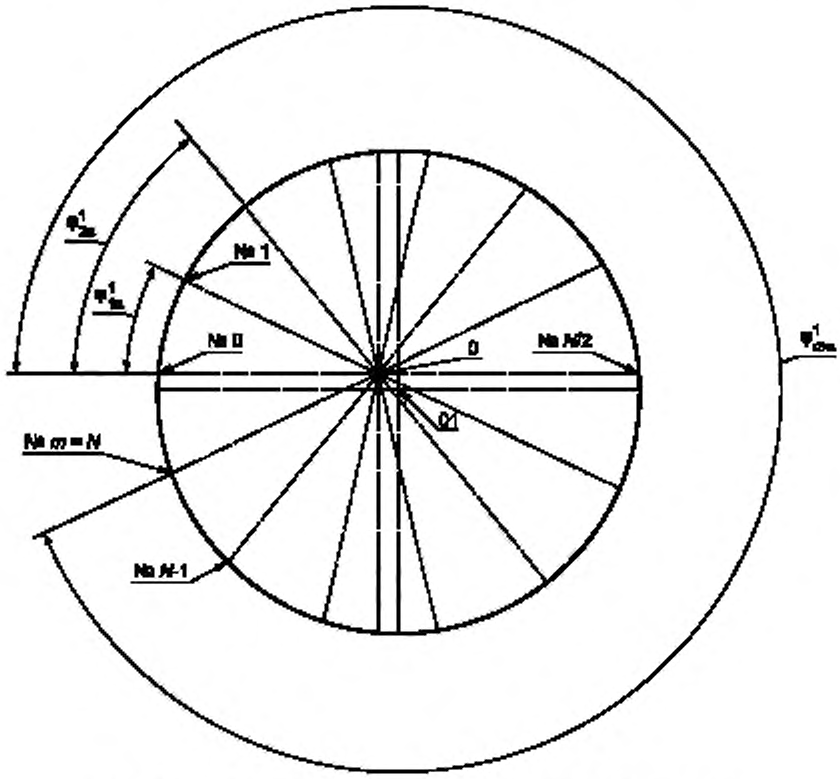
x, *y*, *z* — локальная система координат, *SD* — наклонное линейное расстояние; *HD* — горизонтальное проложение; *h* — высота превышения; H_z — горизонтальный угол; V_z — вертикальный (зенитный) угол

Рисунок А.6 — Схема параметров измерений тахеометром



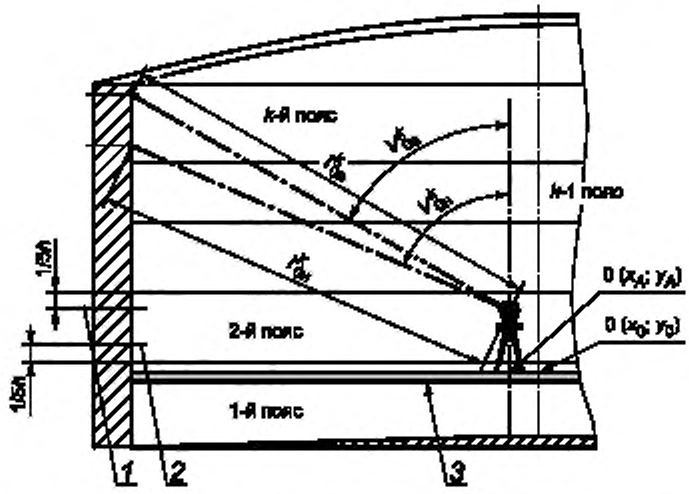
1 — верхнее сечение пояса; 2 — нижнее сечение пояса

Рисунок А.7 — Схема измерений координат точек внутренней поверхности резервуара



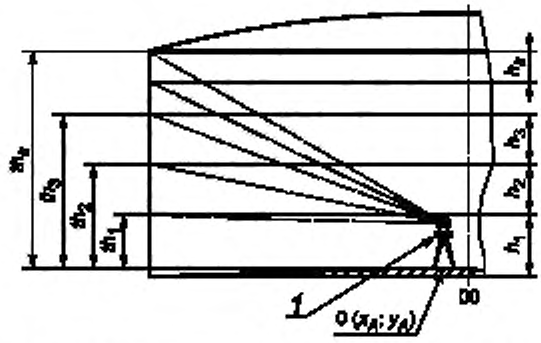
№ 0, № 1, .. , № m — номера образующих, 0 — точка стояния станции съемки,
01 — точка геометрического центра резервуара на данном поясе

Рисунок 8 — Схема образующих резервуара



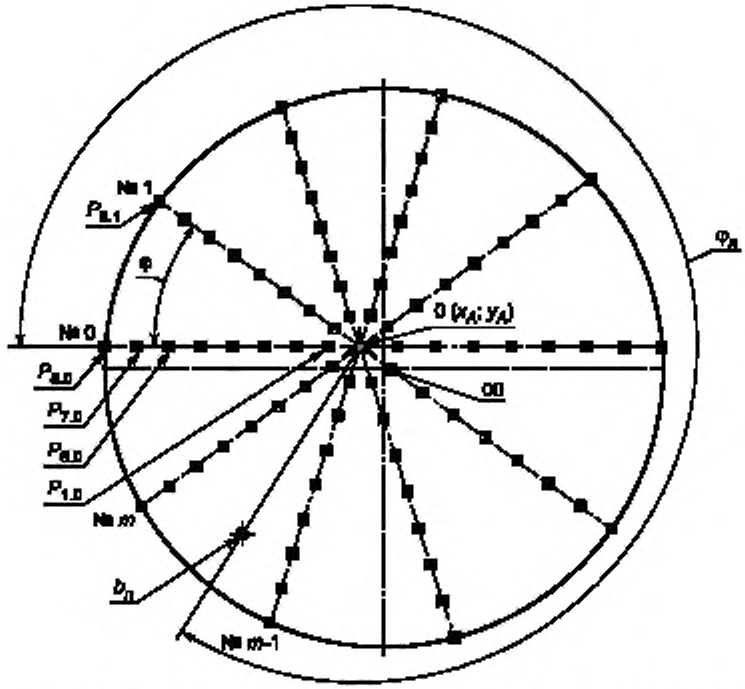
1 — верхнее сечение пояса; *2* — нижнее сечение пояса; *3* — понтон/плавающая крыша

Рисунок А.9 — Схема измерений координат точек внутренней поверхности резервуаров с плавающим покрытием (РВСП, РВСПК)



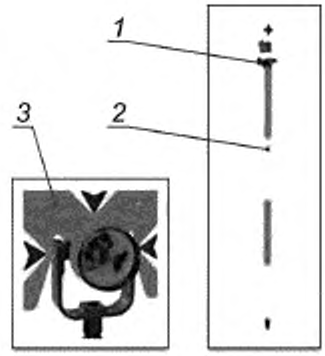
1 — тахеометр; th_1, th_2, th_3, th_k — высоты превышения 1-го, 2-го, 3-го, *k*-го поясов;

Рисунок А.10 — Схема измерений высоты поясов



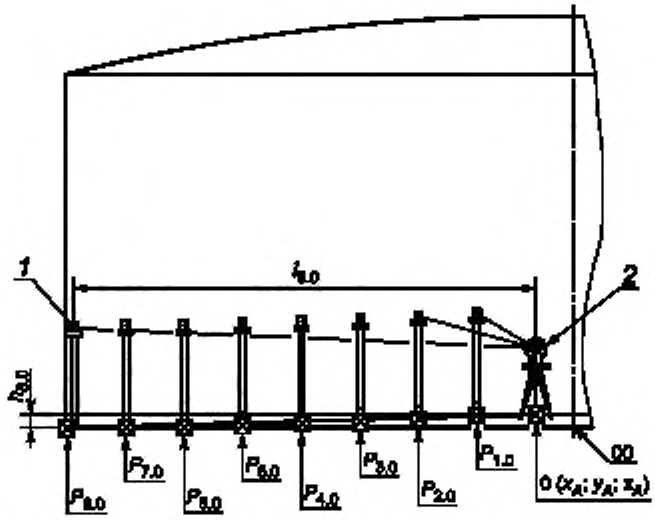
00 — центр резервуара, 0(x_A, y_A) — станция съемки; φ — угол поворота алидады тахеометра в горизонтальной плоскости; $P_{8,0}$, $P_{7,0}$,..., $P_{1,0}$ — точки установки вехи на нулевом радиусе, $b_п$ — точка касания днища грузом рулетки; $φ_п$ — угол между радиусом № 0 и точкой касания днища грузом рулетки

Рисунок А.11 — Координаты отсчета (место установки вехи) неровностей днища и точки касания днища грузом рулетки



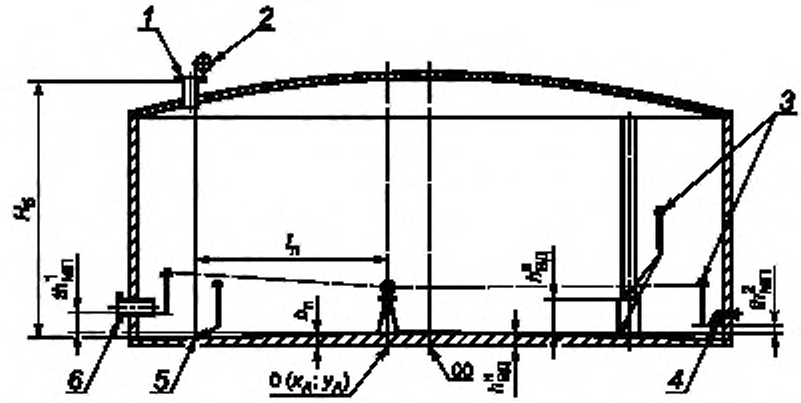
1 — круговой уровень; *2* — веха; *3* — призменный отражатель

Рисунок А.12 — Веха телескопическая с призменным отражателем



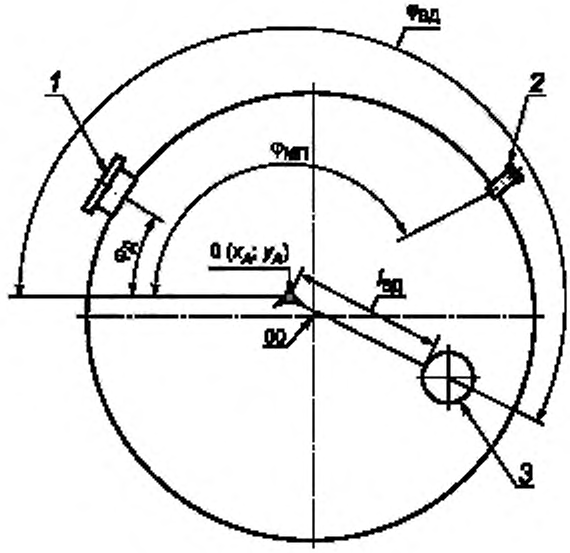
1 — веха с призменным отражателем. *2* — тахеометр; $h_{8,0}$ — высота превышения на 8-м радиусе; $P_{1,0}$, $P_{2,0}$,..., $P_{8,0}$ — точки установки вехи на 1-м, 2-м, ..., 8-м радиусах, 00 — центр днища резервуара. $0(x_A, y_A, z_A)$ — точка установки станции

Рисунок А.13 — Схема измерений координат точек неровностей днища



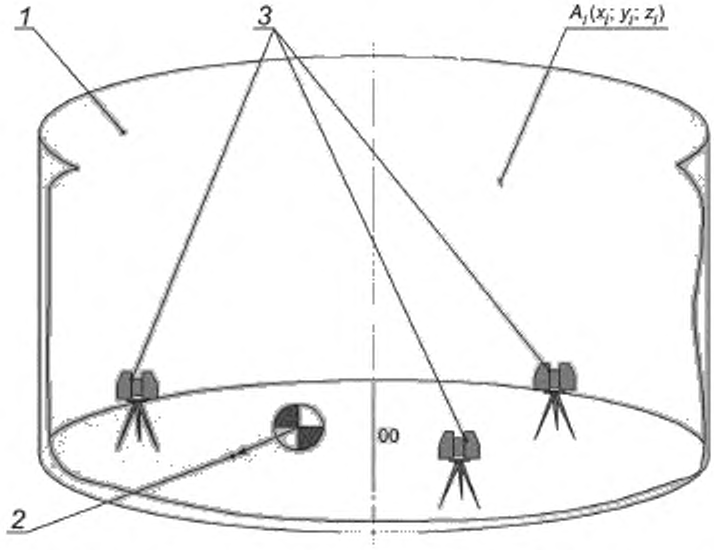
1 — измерительный люк; *2* — измерительная рулетка с грузом; *3* — точки установки вехи; *4* — ПРУ; *5* — точка касания днища грузом рулетки; *6* — ПРП

Рисунок А.14 — Схема измерений параметров «мертвой» полости резервуара



1 — люк-лаз; *2* — приемо-раздаточный патрубок, *3* — внутренняя деталь цилиндрической формы; 00 — центр днища резервуара; $0(x_д, y_д)$ — точка установки станции

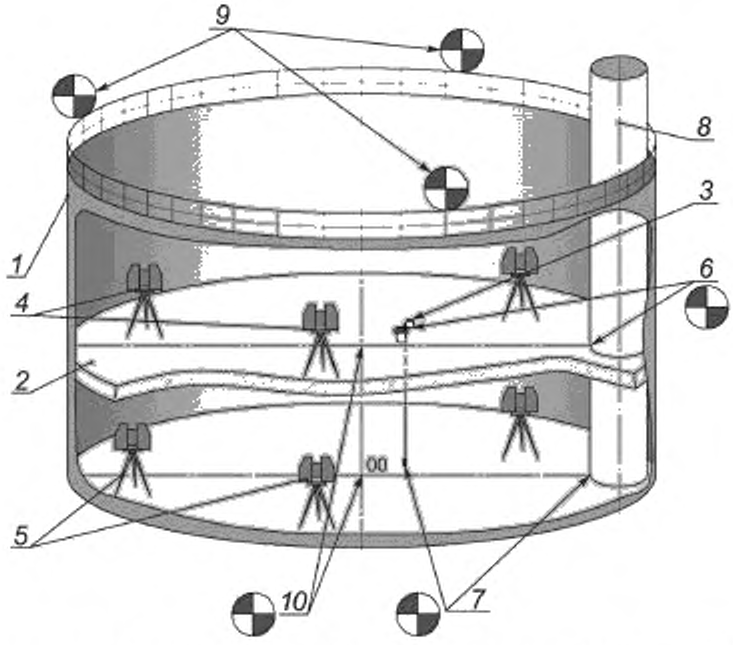
Рисунок А.15 — Схема измерений параметров внутренних деталей



1 — внутренняя полость резервуара; *2* — точка установки сферической марки в точке касания днища грузом рулетки; *3* — точки установки станций съемки; *4* — сферическая марка; $A_i(x_i, y_i, z_i)$ — координаты *i*-й точки на внутренней поверхности резервуара.

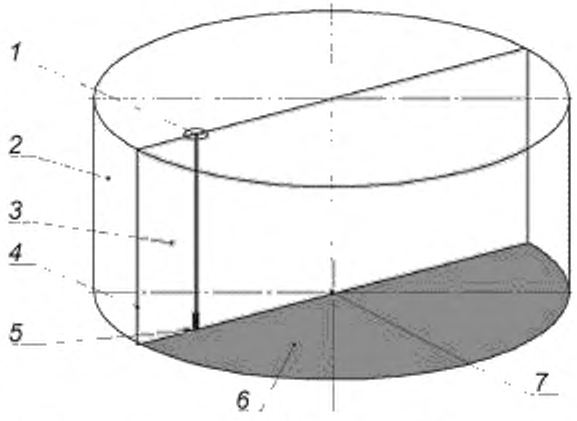
— сферическая марка

Рисунок А.16 — Схема сканирования внутренней полости резервуара



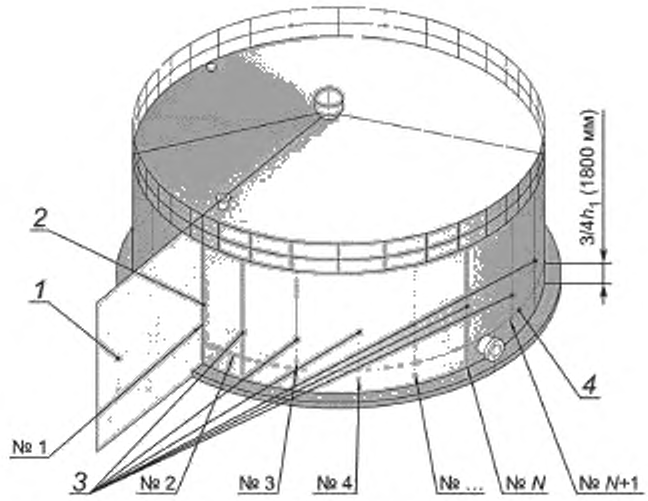
1 — наружная стенка резервуара; *2* — плавающая крыша (понтон), *3* — измерительный люк на плавающей крыше; *4* — станции сканирования на плавающей крыше (понтоне), *5* — станции сканирования на днище резервуара; *6* — место установки сферических марок на плавающей крыше (понтоне), *7* — место установки сферических марок на днище резервуара, *8* — направляющая стойка плавающей крыши (понтона); *9* — место установок сферических марок на ветровом кольце резервуара; *10* — место установки сферических марок в районе центра резервуара; — сферическая марка

Рисунок А.17 — Схема сканирования внутренней полости резервуара с плавающим покрытием



1 — точка измерения базовой высоты резервуара; *2* — стенка резервуара; *3* — плоскость А; *4* — образующая № 0, *5* — точка касания днища грузом рулетки; *6* — днище резервуара; *7* — центр резервуара

Рисунок А.18 — Схема формирования плоскости А



1 — плоскость А, проходящая через центр резервуара и центр измерительного люка; *2* — образующая № 0, *3* — образующие № 1, № 2, .., № *m*, *4* — горизонтальная плоскость измерения длины окружности 1-го пояса резервуара. h_1 — высота 1-го пояса

Рисунок А.19 — Схема измерения длины окружности 1-го пояса резервуара, разметки образующих на цилиндрической стенке

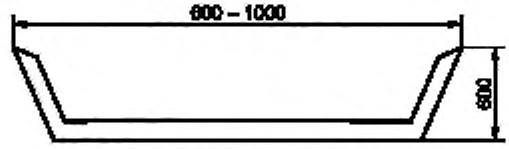
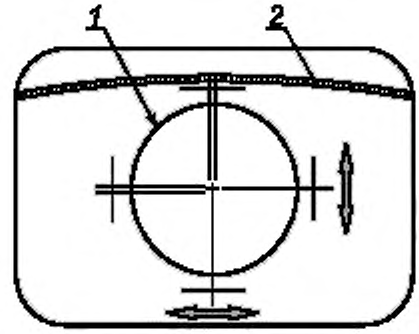
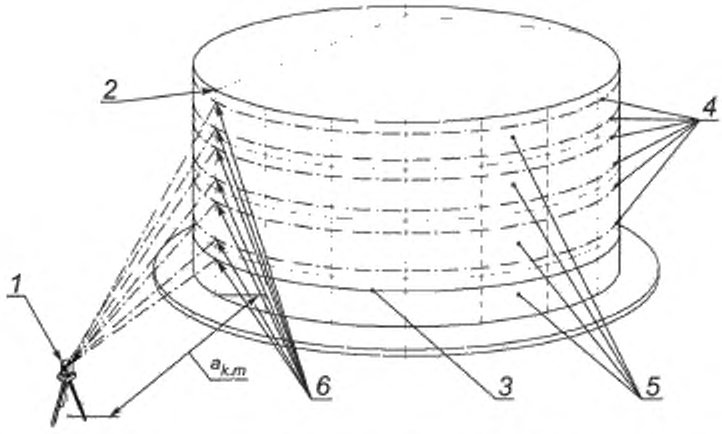


Рисунок А.20 — Скоба для измерений оправок на обход рулеткой накладок и других выступающих частей



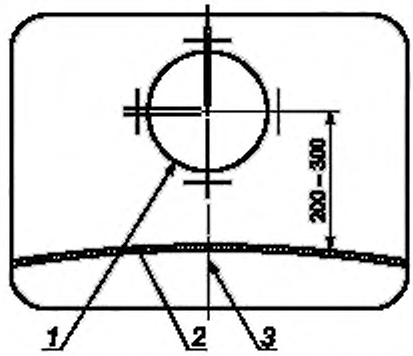
1 — сетка нитей визира; *2* — сварной шов пояса резервуара

Рисунок А.21 — Схема позиционирования линии визирования по нормали к стенке резервуара на образующей



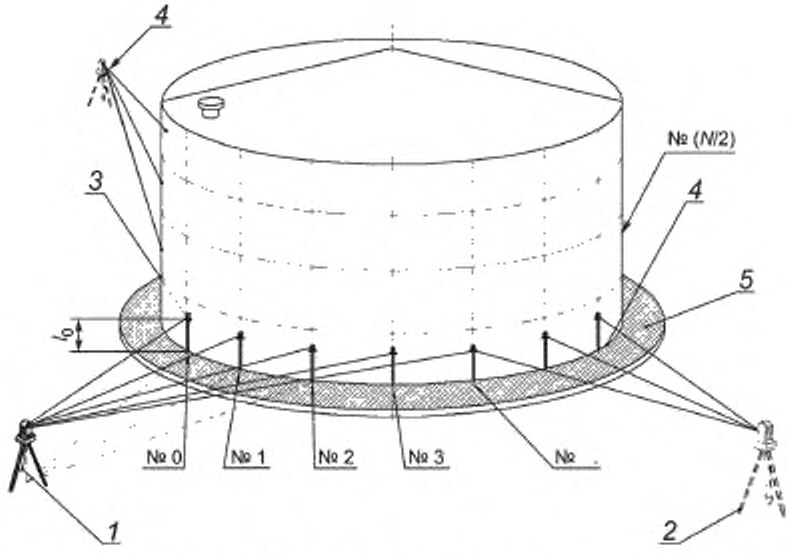
1 — тахеометр; *2* — образующая № 0; *3* — плоскость измерения длины окружности 1-го пояса; *4* — плоскости измерений; *5* — пояса резервуара (1, 2, 3…*k*), *6* — точки измерений, $a_{k.m}$ - расстояние от тахеометра до стенки резервуара, мм, где *k* — номер пояса (1,…*k*); *m* — номер образующей (1, 2,.. *m*)

Рисунок А.22 — Схема измерений радиальных отклонений на образующей № 0



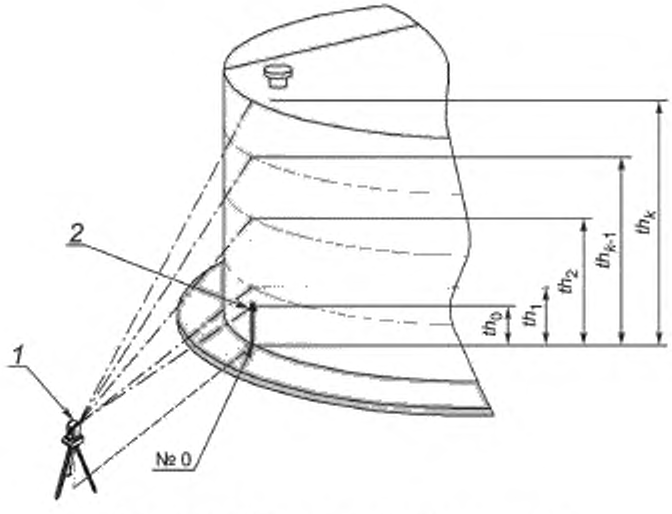
1 — сетка нитей визира, *2* — сварной шов пояса резервуара; *3* — образующая

Рисунок А.23 — Схема позиционирования визирной линии на 2-м поясе в нижнем сечении



1 — тахеометр, установленный по нормали к 0-й образующей; *2* — тахеометр, установленный на следующей станции; *3* — веха с призменным отражателем; *4* — уторный шов, *5* — окрайка днища

Рисунок А.24 — Схема измерений степени наклона резервуара



1 — тахеометр, *2* — веха с призменным отражателем

Рисунок А.25 — Схема измерений высоты поясов резервуара

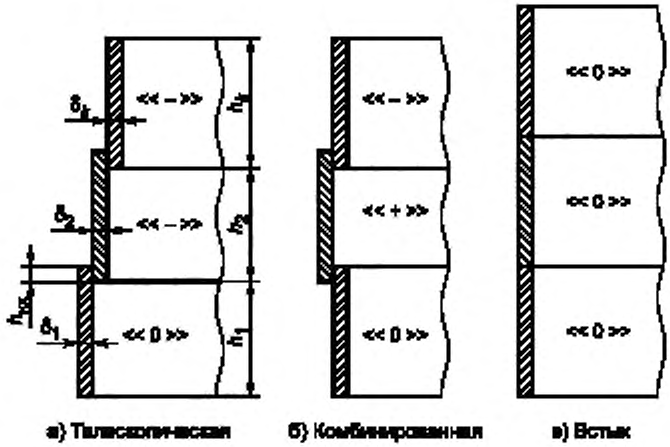
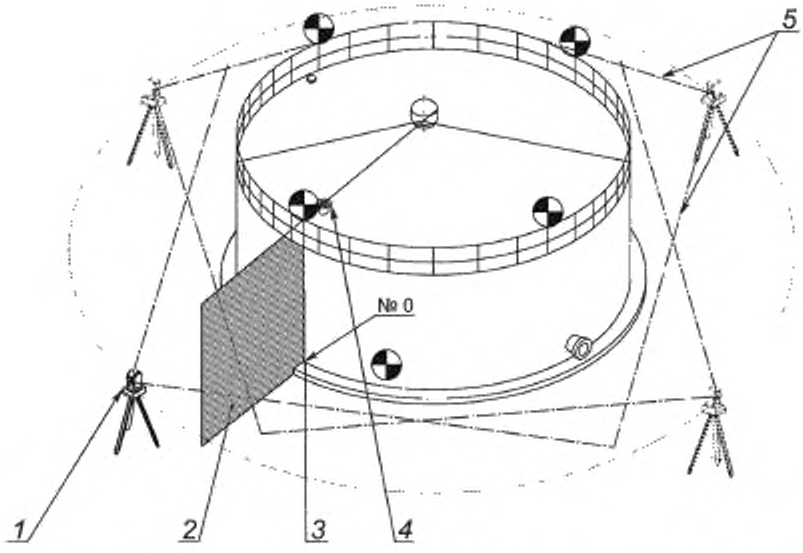
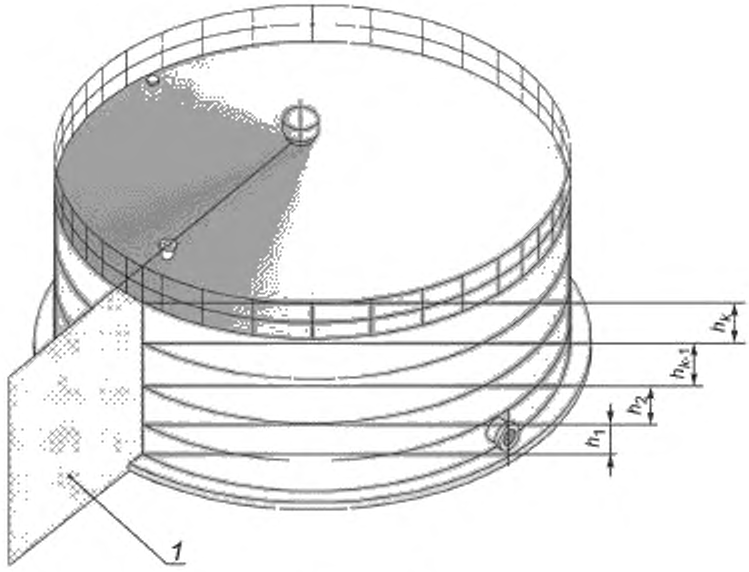


Рисунок А.26 — Схема монтажа поясов и индекс нахлеста



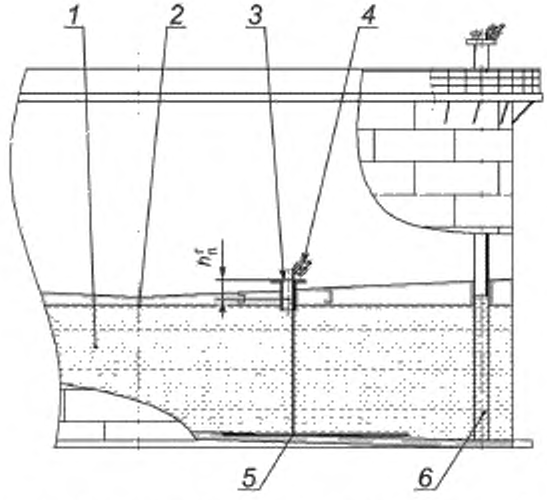
1 — станция сканирования; *2* — плоскость А, *3* — сферическая марка, установленная на ограждении кровли; *4* — точка измерения базовой высоты, *5* — сектор сканирования;
— сферическая марка

Рисунок А.27 — Схема сканирования наружной поверхности резервуара



1 — Плоскость А

Рисунок А.28 — Схема измерений высот поясов



1 — измерительный люк плавающей крыши; *2* — измерительная рулетка с грузом; *3* — плавающая крыша; *4* — налитая жидкость во время калибровки

Рисунок А.29 — Схема измерения высоты газового пространства в измерительном люке плавающей крыши

Приложение Б
(обязательное)

Форма протокола измерений резервуара с применением тахеометра[1)]

ПРОТОКОЛ
измерений параметров резервуара

Таблица Б.1 — Общие данные

Код документа	Регистрационный номер	Дата			Основание для проведения калибровки
		число	месяц	год	
1	2	3	4	5	6
					Первичная, периодическая, внеочередная

Продолжение таблицы Б.1

Место проведения	Рабочие эталоны и вспомогательные средства
7	8

Окончание таблицы Б.1

Резервуар		
Тип	Номер	Погрешность определения вместимости резервуара, %
9	10	11

Таблица Б.2 — Условия проведения измерений

Температура, °С				Загазованность, мг/м^3	Высота превышения призмы i/h, мм
воздуха	стенки резервуара				
	$t_{ст}$	$t_{ст}^{max}$	$t_{ст}^{min}$		
1	2	3	4	5	6

Окончание таблицы Б.2

Скорость ветра, м/с	Влажность воздуха, %	Материал стенки резервуара
7	8	9

[1)] Таблицы, содержащие параметры, измерение которых не предусмотрено при калибровке данного резервуара, в протокол не включают.

Таблица Б.3 — Базовая высота резервуара В миллиметрах

Точка измерения базовой высоты $H_б$	Номер измерения	
	1	2
Риска измерительного люка		
Верхний срез измерительного люка		
Фланец патрубка установки уровнемера		

Таблица Б.4 — Параметры измерений базовой высоты в РВСПК В миллиметрах

Наименование параметра	Номер измерения	
	1	2
$H_{инст}$		
th		
$th_{ил}$		
$th_{уров}$		
$H_Б^{рул}$		

Таблица Б.5[1)] — Параметры измерений базовой высоты В миллиметрах

Наименование параметра	Номер измерения	
	1	2
$H_Б^{рул}$		
$H_Б^{уров}$		

Таблица Б.6 — Измерение координат точек внутренней поверхности резервуара $H_{инст}$ = ____ мм.

Номер пояса	Номер образующей	Значение параметра в сечении					
		нижнее			верхнее		
		φ^k_{min}, deg° m's°	l^k_{min}, mm	V^k_{min}, deg° m's°	φ^k_{min}, deg° m's°	l^k_{min}, мм	V^k_{min}, deg° m's°
1*	0						
	1						
	…						
	m						
2	0						
	1						
	…						
	m						
…	0						
	1						
	…						
	m						
k	0						
	1						
	…						
	m						
* Не заполняют для РВСПК, РВСП.							

[1)] Для 11.2.6.

Таблица Б.7 — Высота превышения поясов

Номер пояса	Координаты точки измерений высоты превышения пояса th_k, мм	
	1-е измерение	2-е измерение
1	2	3
1		
2		
…		
$k-1$		
k		
Примечание — Для 1-го пояса в графы 2, 3 вносят значения h_1 по 11.4.2.		

Таблица Б.8 — Измерение неровностей днища

В миллиметрах

Номер радиуса		Параметры измерений в точке $P_{i,m}$							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0	$l_{i,0}$								
	$h_{i,0}$								
	φ_0, deg°m's"								
1	$l_{i,1}$								
	$h_{i,1}$								
	φ_1, deg°m's"								
…	$l_{i,\ldots}$								
	$h_{i,\ldots}$								
	$\varphi_{\ldots}$, deg°m's"								
m	$l_{i,m}$								
	$h_{i,m}$								
	φ_m, deg°m's"								

Таблица Б.9 — Параметры «мертвой» полости

Номер измерения	Точка касания днища грузом рулетки			ПРП (ПРУ)	
	Высота превышения $b_л$, мм	Угол $\varphi_л$, deg°	Горизонтальное проложение $l_л$, мм	Высота превышения $th_{МП}$, мм	Угол $\varphi_{МП}$, deg°
1	2	3	4	5	6
1					
2					

Таблица Б.10 — Параметры внутренних деталей

Диаметр, мм	Объем, м^3	Высота границы детали от днища, мм		$l_{ВД}$, мм
		Нижняя $h^н_{ВД}$	Верхняя $h^в_{ВД}$	
1	2	3	4	5
Примечания 1 Графу 1 заполняют для детали цилиндрической формы. 2 Графу 2 заполняют для детали произвольной формы.				

Таблица Б.11 — Длина наружной окружности первого пояса

Номер измерения	Длина наружной окружности $L_н$, мм	Поправка на обход накладок $\sum\Delta l_{обх}$, мм	Число укладок ленты n_1, шт.
1	2	3	4
1			
2			

Таблица Б.12 — Радиальные отклонения образующих резервуара от вертикали

Номер пояса		Радиальное отклонение $a_{k\,m/2}$, мм, образующей резервуара от вертикали под номером								
		1	2	3	4	5	6	...	..	m
1	в									
2	н									
	в									
...	н									
	в									
k–1	н									
	в									
k	н									
	в									

Таблица Б.13 — Степень наклона резервуара

Номер точки разбивки k от 1 до m/2	Значение l_m, мм	Номер точки разбивки k от (m/2 + 1) до m	Значение l_m, мм
1	2	3	4
0	l_0	m/2 + 1	$l_{(m/2+1)}$
1	l_1	m/2 + 2	$l_{(m/2+2)}$
2	l_2	m/2 + 3	$l_{(m/2+3)}$
...	...	...	
...	...	...	
m/2	$l_{(m/2)}$	m	l_m

Примечания

1 k (графы 1, 3) — номер текущей образующей, выбирают из ряда: 1, 2, 3, ..., m.

2 l_m (графы 2, 4) — показания превышения высот на образующей под номером m.

Таблица Б.14 — Параметры поясов резервуара

В миллиметрах

Номер пояса	Высота			Толщина			Индекс нахлеста (+; –; 0)
	превышения th_k; h_k на образующей		нахлеста $h_{н.х}$	пояса δ_k	слоя краски $\delta_{с.к}$	покрытия $\delta_{с.п}$	
	0	N/2					
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
...							
k – 1							

Окончание таблицы Б.14

В миллиметрах

Номер пояса	Высота			Толщина			Индекс нахлеста (+, −, 0)
	превышения th_k, h_k на образующей		нахлеста $h_{н.х}$	пояса δ_k	слоя краски $\delta_{с.к}$	покрытия $\delta_{с.п}$	
	0	$N/2$					
1	2	3	4	5	6	7	8
k							

Примечания

1 В графах 2 и 3 указывают значения: th_k — при проведении измерений по 13.6.

2 В графе 2 указывают значение h_k — при проведении измерений по 14.4.

Таблица Б.15 — Параметры жидкости

Уровень жидкости при калибровке $H_г$, мм	Плотность, кг/м^3	
	жидкости при калибровке $\rho_{ж.г}$	хранимой жидкости $\rho_{ж.х}$
1	2	3

Примечания

1 Графы 1 и 2 заполняют при наличии жидкости в резервуаре во время проведения калибровки.

2 Графу 3 заполняют только при отсутствии жидкости в резервуаре во время проведения калибровки.

Таблица Б.16 — Параметры плавающего покрытия

Масса $m_п$, кг	Диаметр $D_п$, мм	Расстояние от днища при крайнем положении, мм		Диаметр отверстия, мм			Параметры опоры		
		нижнем $h_п^н$	верхнем $h_п^в$	D_1	D_2	$D_п$	Диаметр $D_{опор}$, мм	Число $n_{опор}$, шт.	Высота $h_{опор}$, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Примечание — Если опоры плавающего покрытия приварены к днищу резервуара, то их относят к числу внутренних деталей.

Таблица Б.17 — Параметры понтона с поплавками цилиндрической формы

Масса $m_п$, кг	Диаметр поплавка $D_п$, мм	Суммарная длина поплавков $l_п$, мм	Диаметр отверстия, мм			Расстояние от днища при крайнем положении поплавков, мм	
			D_1	D_2	$D_п$	нижнем $h_п^н$	верхнем $h_п^в$
1	2	3	4	5	6	7	8

Окончание таблицы Б.17

Параметр опоры		
Диаметр, мм	Число, шт	Высота, мм
9	10	11

Примечание — Если опоры понтона приварены к днищу резервуара, то их относят к числу внутренних деталей.

Таблица Б.18 — Высота незаполненного пространства в плавающей крыше

Точка измерения высоты газового пространства $h_п^г$, мм	Номер измерения	
	1	2
Риска измерительного люка		
Фланец измерительного люка		

_____ _____ _____

должность личная подпись инициалы, фамилия

Приложение В
(рекомендуемое)

Форма акта измерений базовой высоты резервуара

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель предприятия — владельца
резервуара (директор, главный инженер)

АКТ
измерений базовой высоты резервуара
от «___» _____ 20__ г.

Составлен 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 стального вертикального цилиндрического (РВС) _____ №_____

при температуре окружающего воздуха _____ °С.

Измерения проведены рулеткой типа _____ № _____ со сроком

действия поверки до «___» _____ 20__ г.

Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица В.1 — В миллиметрах

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

Относительное изменение базовой высоты резервуара $\delta_б$ %, вычисляют по формуле $\delta_б = \frac{(H_б)_п - (H_б)_к}{(H_б)_к} \cdot 100$,

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

Вывод — требуется (не требуется) внеочередная калибровка резервуара.

Председатель комиссии

_____ _____
личная подпись инициалы, фамилия

Члены комиссии:

_____ _____
личная подпись инициалы, фамилия

_____ _____
личная подпись инициалы, фамилия

Приложение Г
(обязательное)

Форма титульного листа градуировочной таблицы и форма градуировочной таблицы

Г.1 Форма титульного листа градуировочной таблицы[1)]

Приложение к сертификату
калибровки № _____

УТВЕРЖДАЮ
_____
_____
«___» _____ 20__ г.

ГРАДУИРОВОЧНАЯ ТАБЛИЦА
на стальной вертикальный цилиндрический резервуар

РВС_____ №_____

Организация_____

Данные соответствуют стандартной температуре 15 °С (20 °С)
(ненужное зачеркнуть)

Неопределенность вместимости указана в градуировочной таблице

Срок очередной калибровки_____

Специалист по калибровке
_____
личная подпись
М.П. _____
должность, инициалы, фамилия

Г.2 Форма градуировочной таблицы резервуара[2)]

Лист ___ из _____

Организация _____
Резервуар №_____
Место расположения _____

Таблица Г.1 — Посантиметровая вместимость пояса резервуара

Уровень наполнения, см	Вместимость, $м^3$	Стандартная неопределенность, %	Уровень наполнения, см	Вместимость, м3	Стандартная неопределенность, %
$H_{МП}$			$H_i + 1$		
$H_{МП} + 1$			…		
$H_{МП} + 2$			…		
…			…		
…			…		
…			…		
H_i			…		

1) Форма титульного листа не подлежит изменению.
2) Форма градуировочной таблицы не подлежит изменению.

Таблица Г.2 — Средняя вместимость в пределах вместимости пояса, приходящейся на 1 мм высоты наполнения

Уровень наполнения, мм	Вместимость, м^3	Уровень наполнения, мм	Вместимость, м^3	Уровень наполнения мм	Вместимость, м^3
1		4		7	
2		5		8	
3		6		9	

Таблица Г.3 — Вместимость в пределах «мертвой» полости резервуара[1)]

Уровень наполнения, см	Вместимость, м^3	Уровень наполнения, мм	Вместимость, м^3
0		...	
1		...	
...		$H_{МП}$	

[1)] Заполняют по согласованию с заказчиком.

Приложение Д
(обязательное)

Обработка результатов измерений с применением тахеометра[1)]

Д.1 Определение внутренних диаметров поясов резервуара

Д.1.1 Внутренние диаметры k-го пояса резервуара D_k, мм, измеренные по 11.3, вычисляют по результатам вычисления внутренних радиусов в нижнем и верхнем сечениях пояса.

Д.1.2 Для вычисления внутреннего радиуса пояса резервуара проводят измерения следующих параметров:

- наклонного расстояния $l^k_{тн/в}$ (параметр SD);
- вертикального угла $V^k_{тн/в}$ (параметр V_z);
- горизонтального угла $\varphi^k_{тн/в}$ (параметр H_z).

Д.1.3 Положение точки (например, точка А), лежащей на поверхности стенки k-го пояса в нижнем/верхнем сечении пояса на радиусе m (рисунок Д.1), определяется тремя координатами декартовой системы координат ($x^k_{тн/в}$, $y^k_{тн/в}$, $z^k_{тн/в}$).

Из-за несовпадения начала системы координат измерений (станции съемки) с геометрическим центром резервуара (центром окружности) радиус резервуара определяют с учетом смещения станции съемки от геометрического центра резервуара.

Д.1.4 При направлении визирной линии тахеометра к точке А расстояние от точки ($x^k_{тн/в}$, $y^k_{тн/в}$, $z^k_{тн/в}$) до геометрического центра резервуара в плоскости измерений (нижнее/верхнее сечение) на радиусе m, в соответствии с нормативным документом[2)] вычисляют по формуле

$$\sqrt{\left(x^k_{тн/в} - a^k_{н/в}\right)^2 + \left(y^k_{тн/в} - b^k_{н/в}\right)^2} - R^k_{тн/в} = 0, \qquad (Д.1)$$

где $x^k_{тн/в}$; $y^k_{тн/в}$ — координаты точки А на радиусе m в k-м поясе в нижнем/верхнем сечении, мм;

$a^k_{н/в}$, $b^k_{н/в}$ — смещение по оси X и Y места установки станции съемки от геометрического центра резервуара, мм.

Величины $x^k_{тн/в}$, $y^k_{тн/в}$, $z^k_{тн/в}$ вычисляют по формуле

$$x^k_{тн/в} = l^k_{тн/в} \cdot \cos(\varphi^k_{тн/в}) \cdot \sin(V^k_{тн/в}); \qquad (Д.2)$$

$$y^k_{тн/в} = l^k_{тн/в} \cdot \sin(\varphi^k_{тн/в}) \cdot \sin(V^k_{тн/в}); \qquad (Д.3)$$

$$z^k_{тн/в} = l^k_{тн/в} \cdot \cos(V^k_{тн/в}), \qquad (Д.4)$$

где $l^k_{тн/в}$ — наклонное расстояние, мм;

$V^k_{тн/в}$ — вертикальный угол (зенитный), измеренный в k-м поясе в нижнем (верхнем) сечении, deg° m′s″;

$\varphi^k_{тн/в}$ — горизонтальный угол N-образующей, deg° m′s″.

Расстояние $r^k_{тн/в}$ от точки ($x^k_{тн/в}$; $y^k_{тн/в}$) до геометрического центра резервуара в нижнем/верхнем сечении на m-й образующей k-го пояса вычисляют по формуле

$$r^k_{тн/в} = \sqrt{\left(x^k_{тн/в} - a^k_{н/в}\right)^2 + \left(y^k_{тн/в} - b^k_{н/в}\right)^2}. \qquad (Д.5)$$

Д.1.5 Смещение станции съемки $a^k_{н/в}$, $b^k_{н/в}$ от геометрического центра резервуара (глобальной системы координат 00) и расстояние от точек на поверхности пояса до центра окружности $R^k_{тн/в}$ в нижнем/верхнем сечении k-го пояса вычисляют методом наименьших квадратов.

Параметры $a^k_{н/в}$, $b^k_{н/в}$, $R^k_{н/в}$ вычисляют, решая систему линейных уравнений:

$$a^k_{н/в} = \left[\sum_{m=0}^{N} x^k_{тн/в} - R^k_{н/в}\sum_{m=0}^{N}\frac{\left(x^k_{тн/в} - a^k_{н/в}\right)}{r^k_{тн/в}}\right] \cdot \frac{1}{N+1}; \qquad (Д.6)$$

$$b^k_{н/в} = \left[\sum_{m=0}^{N} y^k_{тн/в} - R^k_{н/в}\sum_{m=0}^{N}\frac{\left(y^k_{тн/в} - b^k_{н/в}\right)}{r^k_{тн/в}}\right] \cdot \frac{1}{N+1}. \qquad (Д.7)$$

---

1) Все расчеты проводят до восьмой значащей цифры, затем результат округляют для длин до целого числа миллиметров, для объемов — до целого числа тысячных долей метра кубического. Во всех формулах значения линейных размеров указывают в миллиметрах, объемы — в метрах кубических, массу — в килограммах, температуру — в градусах Цельсия, плотность — в килограммах на метр кубический.

2) См. [4].

$$R^k_{н/в} = \frac{1}{N+1} \cdot \sum_{m=0}^{N} r^k_{mн/в}, \qquad (Д.8)$$

где $r^k_{mн/в}$ — радиус под номером m k-го пояса в нижнем/верхнем сечении, вычисляемый по формуле (Д.5), мм;

N — число радиусов (число измерений), в соответствии с таблицей 7;

$x^k_{mн/в}$, $y^k_{mн/в}$ — координаты точки внутренней поверхности на радиусе под номером m в нижнем/верхнем сечении k-го пояса резервуара, мм.

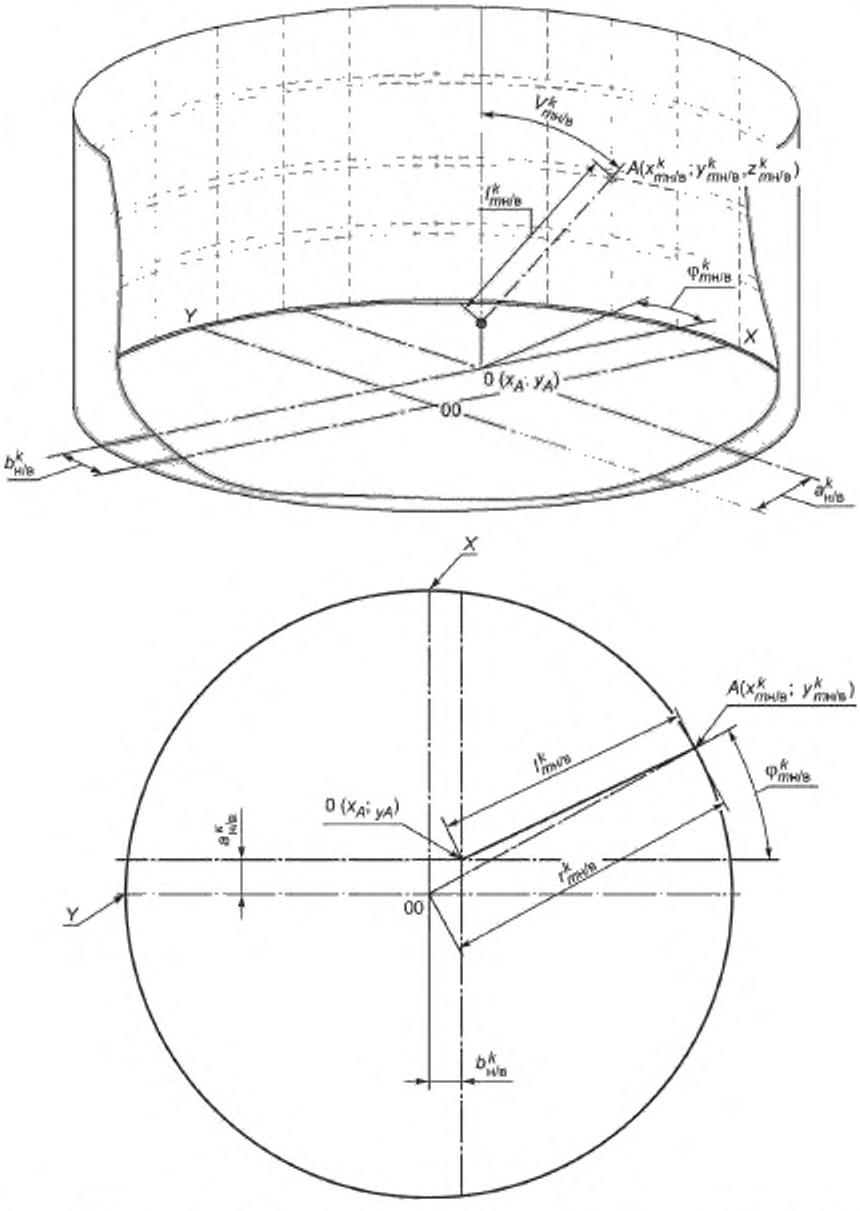


Рисунок Д.1 — Параметры измерений радиуса $r^k_{mн/в}$ k-го пояса при j-м измерении в нижнем/верхнем сечении

Д.1.6 Вычисление величин $a^k_{н/в}$, $b^k_{н/в}$, $R^k_{н/в}$ проводят в следующей последовательности.

Д.1.6.1 Вычисление величин $a^k_{\text{н/в}}$, $b^k_{\text{н/в}}$, $R^k_{\text{н/в}}$ в 0-м приближении ($a^k_{0\text{н/в}}$, $b^k_{0\text{н/в}}$, $R^k_{0\text{н/в}}$):

а) устанавливают значение $a^k_{0\text{н/в}}$, $b^k_{0\text{н/в}}$ в формуле (Д.5) равным нулю;

б) вычисляют значения $r^k_{0.0\text{н/в}}$ в соответствии с формулой (Д.5)

$$r^k_{0.0\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{0\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{0\text{н/в}}\right)^2}; \qquad r^k_{0.1\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{1\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{1\text{н/в}}\right)^2};$$

$$r^k_{0.2\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{2\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{2\text{н/в}}\right)^2}; \qquad \ldots \qquad r^k_{0.m\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{m\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{m\text{н/в}}\right)^2}.$$

Примечание — В обозначении $r^k_{0.0\text{н/в}}$ верхний индекс k соответствует номеру пояса, в нижнем индексе: первое число указывает номер приближения, второе число — номер радиуса (разбивки), н/в — нижнее/верхнее сечение;

в) вычисляют значение $R^k_{0.0\text{н/в}}$ по формуле (Д.8):

$$R^k_{0\ 0\text{н/в}} = \frac{1}{N+1}\left(r^k_{0.0\text{н/в}} + r^k_{0\ 1\text{н/в}} + r^k_{0\ 2\text{н/в}} + \ldots + r^k_{0\ m\text{н/в}}\right);$$

г) вычисляют значения $a^k_{0\text{н/в}}$, $b^k_{0\text{н/в}}$ в соответствии с формулами (Д.6) и (Д.7):

$$a^k_{0\text{н/в}} = \frac{x^k_{0\text{н/в}} + x^k_{1\text{н/в}} + \ldots + x^k_{N\text{н/в}}}{N+1} - \frac{R^k_{0\text{н/в}}}{N+1}\left(\frac{x^k_{0\text{н/в}}}{\sqrt{\left(x^k_{0\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{0\text{н/в}}\right)^2}} + \frac{x^k_{1\text{н/в}}}{\sqrt{\left(x^k_{1\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{1\text{н/в}}\right)^2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{x^k_{2\text{н(в)}}}{\sqrt{\left(x^k_{2\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{2\text{н/в}}\right)^2}} + \ldots + \frac{x^k_{N\text{н(в)}}}{\sqrt{\left(x^k_{N\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{N\text{н/в}}\right)^2}}\right);$$

$$b^k_{0\text{н/в}} = \frac{y^k_{0\text{н/в}} + y^k_{1\text{н/в}} + \ldots + y^k_{N\text{н/в}}}{N+1} - \frac{R^k_{0\text{н/в}}}{N+1}\left(\frac{y^k_{0\text{н/в}}}{\sqrt{\left(x^k_{0\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{0\text{н/в}}\right)^2}} + \frac{y^k_{1\text{н/в}}}{\sqrt{\left(x^k_{1\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{1\text{н/в}}\right)^2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{y^k_{2\text{н(в)}}}{\sqrt{\left(x^k_{2\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{2\text{н/в}}\right)^2}} + \ldots + \frac{y^k_{N\text{н(в)}}}{\sqrt{\left(x^k_{N\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{N\text{н/в}}\right)^2}}\right).$$

Д.1.6.2 Вычисление величин $a^k_{\text{н/в}}$, $b^k_{\text{н/в}}$, $R^k_{\text{н/в}}$, в 1-м приближении ($a^k_{1\text{н/в}}$, $b^k_{1\text{н/в}}$, $R^k_{1\text{н/в}}$):

$$r^k_{1.0\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{0\text{н/в}} - a^k_{0\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{0\text{н/в}} - b^k_{0\text{н/в}}\right)^2};$$

$$r^k_{1.1\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{1\text{н/в}} - a^k_{0\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{1\text{н/в}} - b^k_{0\text{н/в}}\right)^2};$$

$$r^k_{1.2\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{2\text{н/в}} - a^k_{0\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{2\text{н/в}} - b^k_{0\text{н/в}}\right)^2};$$

...

$$r^k_{1.N\text{н(в)}} = \sqrt{\left(x^k_{N\text{н/в}} - a^k_{0\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{N\text{н/в}} - b^k_{0\text{н/в}}\right)^2};$$

$$R^k_{1\text{н/в}} = \frac{1}{N+1}\left(r^k_{1\ 0\text{н/в}} + r^k_{1.1\text{н/в}} + r^k_{1.2\text{н/в}} + \ldots + r^k_{1.N\text{н/в}}\right);$$

$$a^k_{1\text{н/в}} = \frac{x^k_{0\text{н/в}} + x^k_{1\text{н/в}} + \ldots + x^k_{N\text{н/в}}}{N+1} - \frac{R^k_{1\text{н/в}}}{N+1}\left(\frac{x^k_{0\text{н/в}}}{r^k_{1.0\text{н/в}}} + \frac{x^k_{1\text{н/в}}}{r^k_{1.1\text{н/в}}} + \frac{x^i_{2\text{н/в}}}{r^k_{1.2\text{н/в}}} + \ldots + \frac{x^k_{N\text{н/в}}}{r^k_{1N\text{н/в}}}\right);$$

$$b^k_{1\text{н/в}} = \frac{y^k_{0\text{н/в}} + y^k_{1\text{н/в}} + \ldots + y^k_{N\text{н/в}}}{N+1} - \frac{R^k_{1\text{н/в}}}{N+1}\left(\frac{y^k_{0\text{н/в}}}{r^k_{1.0\text{н/в}}} + \frac{y^k_{1\text{н/в}}}{r^k_{1.1\text{н/в}}} + \frac{y^k_{2\text{н/в}}}{r^k_{1.2\text{н/в}}} + \ldots + \frac{y^k_{N\text{н/в}}}{r^k_{1N\text{н/в}}}\right);$$

Д.1.6.3 Вычисление величин $a^k_{\text{н/в}}$, $b^k_{\text{н/в}}$, $R^k_{\text{н/в}}$, во 2-м приближении ($a^k_{2\text{н/в}}$, $b^k_{2\text{н/в}}$, $R^k_{2\text{н/в}}$):

$$r^k_{2.0\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{0\text{н/в}} - a^k_{1\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{0\text{н/в}} - b^k_{1\text{н/в}}\right)^2};$$

$$r^k_{2\ 1\text{н/в}} = \sqrt{\left(x^k_{1\text{н/в}} - a^k_{1\text{н/в}}\right)^2 + \left(y^k_{1\text{н/в}} - b^k_{1\text{н/в}}\right)^2};$$

$$r^k_{2.2н/в} = \sqrt{\left(x^k_{2н/в} - a^k_{1н/в}\right)^2 + \left(y^k_{2н/в)} - b^k_{1н/в}\right)^2};$$

$$r^k_{2.3н/в} = \sqrt{\left(x^k_{3н/в} - a^k_{1н/в}\right)^2 + \left(y^k_{3н/в} - b^k_{1н/в}\right)^2};$$

...

$$r^k_{2\,Nн/в} = \sqrt{\left(x^k_{Nн/в} - a^k_{1н/в}\right)^2 + \left(y^k_{Nн/в} - b^k_{1н/в}\right)^2};$$

$$R^k_{2н/в} = \frac{1}{N}\left(r^k_{2.0н/в} + r^k_{2.1н/в} + r^k_{2.2н/в} + ... + r^k_{2Nн/в}\right);$$

$$a^k_{2н/в} = \frac{x^k_{0н/в} + x^k_{1н/в} + ... + x^k_{Nн/в}}{N+1} - \frac{R^k_{2н/в}}{N+1}\left(\frac{x^k_{0н/в}}{r^k_{2.0н/в}} + \frac{x^k_{1н/в}}{r^k_{2.1н/в}} + \frac{x^k_{2н/в}}{r^k_{2.2н/в}} + ... + \frac{x^k_{Nн/в}}{r^k_{2Nн/в)}}\right);$$

$$b^k_{2н/в} = \frac{y^k_{0н/в} + y^k_{1н/в} + ... + y^k_{Nн/в}}{N+1} - \frac{R^k_{2н/в}}{N+1}\left(\frac{y^k_{0н/в}}{r^k_{2.0н/в}} + \frac{y^k_{1н/в}}{r^k_{2.1н/в}} + \frac{y^k_{2н/в}}{r^k_{2.2н/в}} + ... + \frac{y^k_{Nн/в}}{r^k_{2Nн/в}}\right).$$

Д.1.6.4 Операции вычисления прекращают в случае выполнения условия

$$|R^k_{jн/в} - R^k_{j-1н/в}| \le 0{,}001 \text{ мм}, \quad (Д.9)$$

где j — номер приближения (0, 1, ...m).

Д.1.7 Внутренний диаметр D_k k-го пояса вычисляют по формуле

$$D_k = R^н_k + R^в_k, \quad (Д.10)$$

где $R^k_н$, $R^k_в$ — внутренние радиусы в нижнем и верхнем сечениях k-го пояса, мм.

Д.2 Вычисление высоты поясов резервуара

При проведении измерений по 11.4 высоту k-го пояса резервуара, начиная со 2-го пояса (рисунок А.10), как расстояние по вертикали от середины сварного шва k-го и $k + 1$ поясов резервуара h_k, мм, вычисляют по формуле

$$h_k = th_{k+1} - th_k, \quad (Д.11)$$

где th_{k+1}, th_k — высота превышения k-го и $k + 1$ вышестоящих поясов (рисунок А.10), мм.

Д.3 Вычисление внутреннего диаметра первого пояса

При проведении наружных измерений по разделу 13 внутренний диаметр 1-го пояса определяют по результатам вычисления длины наружной окружности с учетом толщины стенки.

Д.3.1 Длину наружной окружности 1-го пояса $L_н$, мм, вычисляют по формуле

$$L_н = \frac{L_{н1} + L_{н2}}{2} - \sum_{j=1}^{n_1} \Delta l_{обхj}, \quad (Д.12)$$

где $L_{н1}$, $L_{н2}$ — результаты двух измерений длины наружной окружности 1-го пояса, мм, значение принимают по таблице Б.11 (графа 2);

$\Delta l_{обхj}$ — поправка на обход j-й выступающей детали, мм (графа 3 таблицы Б.11);

n_1 — число выступающих деталей (графа 4 таблица Б.11).

Д.3.2 Длину внутренней окружности 1-го пояса $L_{вн}$, мм, вычисляют по формуле

$$L_{вн} = L_н - 2\pi \cdot (\delta_1 + \delta_{с.к} + \delta_{с.п}), \quad (Д.13)$$

где δ_1 — толщина стенки 1-го пояса, мм (графа 5 таблицы Б.14);

$\delta_{с.к}$, $\delta_{с.п}$ — толщина слоя краски и антикоррозионного покрытия, мм (графы 6, 7 таблицы Б.14).

Д.3.3 Если при калибровке в резервуаре находится жидкость, то длину внутренней окружности 1-го пояса, недеформированного от действия гидростатического давления жидкости, $L_{вн.ц}$, мм, вычисляют по формуле

$$L_{вн.ц} = L_{вн} - 2\pi \cdot \Delta r_г, \quad (Д.14)$$

где $\pi = 3{,}1415926$;

$\Delta r_г$ — увеличение радиуса 1-го пояса, вызванное гидростатическим давлением жидкости, вычисляемое по формуле

$$\Delta r_г = \frac{\rho_{ж.г} \cdot g \cdot L^2_{вн} \cdot \left(H_г - \frac{3}{4} \cdot h_1\right)}{4 \cdot 10^3 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \delta_1}, \quad (Д.15)$$

где g — ускорение свободного падения, равное 9,8066 м/с^2;

$\rho_{ж.г}$ — плотность жидкости, находящейся в резервуаре при калибровке (графа 2 таблицы Б.15), кг/м^3;

$H_г$ — высота наполнения резервуара при калибровке, мм (графа 1 таблицы Б.15);

E — модуль упругости материала, Па (для стали $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ Па);
h_1 — высота 1-го пояса, измеряемая по 11.4.2, мм.

Примечание — Значение Δr_t учитывают, если $H_t \geq 3000$ мм, при $H_t < 3000$ мм принимают $\Delta r_t = 0$.

Д.3.4 Внутренний диаметр D_1, мм, 1-го пояса вычисляют по формуле

$$D_1 = \frac{L_{вн}}{\pi}, \qquad (Д.16)$$

где $L_{вн}$ — длина внутренней окружности, мм, вычисляемая по формулам (Д.13) или (Д.14).

Д.4 Вычисление внутренних диаметров и высот поясов

Д.4.1 При проведении измерений по разделу 13 внутренние диаметры вышестоящих поясов D_k, мм, определяют по результатам измерений радиальных отклонений по вертикали от 1-го пояса. Вычисление средних радиальных отклонений образующих резервуара по вертикали проводят в следующей последовательности.

Д.4.1.1 Вычисляют средние расстояния от стенки резервуара до тахеометра (точки измерений) a, мм, по формулам:

- для 1-го пояса

$$a_{ср1} = \frac{\sum_{m=0}^{N} a_{1m}}{N+1}, \qquad (Д.17)$$

- для вышестоящих поясов

$$a_{срk} = \frac{\sum_{m=0}^{N} a_{k.mн} + \sum_{m=0}^{N} a_{k.mв}}{2N+1}, \qquad (Д.18)$$

где m — номер образующей резервуара (1, 2, 3, ..., N);
н, в — обозначения нижнего и верхнего сечений пояса соответственно.

Д.4.1.2 Средние радиальные отклонения образующих резервуара $\Delta R_{срk}$ вычисляют по формуле

$$\Delta R_{срk} = a_{срk} - a_{ср1}. \qquad (Д.19)$$

Д.4.1.3 Длину внутренних окружностей $L_{внk}$ вышестоящих поясов вычисляют по формуле

$$L_{внk} = L_н - 2\pi \cdot (\delta_k + \delta_{с.к} + \delta_{с.п} - \Delta R_{срk}), \qquad (Д.20)$$

где δ_k — толщина стенки k-го пояса, мм (графа 5 таблицы Б.14);
$\delta_{с.к}$, $\delta_{с.п}$ — толщина слоя краски и антикоррозионного покрытия, мм (графы 6, 7 таблицы Б.14).

Д.4.1.4 При наличии жидкости в резервуаре на момент его калибровки длину внутренних окружностей вышестоящих поясов, недеформированных от действия гидростатического давления жидкости, $L_{вн.цk}$, мм, вычисляют по формуле

$$L_{вн.цk} = L_{внk} - 2\pi \cdot \Delta r_{гk}, \qquad (Д.21)$$

где $\Delta r_{гk}$ — увеличение радиуса k-го пояса, вычисляемое по формуле

$$\Delta r_{гk} = \frac{\rho_{ж\,г} \cdot g \cdot L_{внk} \cdot \sqrt{H_г - \chi_k}}{4 \cdot 10^9 \cdot \pi^2 \cdot E}, \qquad (Д.21а)$$

где $H_г$ — уровень наполнения, мм (графа 1 таблицы Б.15);
χ_k — расстояние по вертикали от плоскости начала отсчета до середины k-го пояса, вычисляемое по формуле

$$\chi_k = \sum_{k=1}^{f-1} (h_k - b_п) + \frac{h_f - b_п}{2}, \qquad (Д.21б)$$

где h_f — высота наполненного k-го пояса, вычисляемая по формуле (Д.24), мм;
$b_п$ — высота превышения в точке касания днища грузом рулетки, мм (графа 2 таблицы Б.9);
h_f — высота наполненного последнего пояса, мм.

Д.4.1.5 Внутренние диаметры D_k, мм, поясов вычисляют по формуле

$$D_k = \frac{L_{внk}}{\pi}, \qquad (Д.22)$$

где $L_{внk}$ — длина внутренней окружности k-го пояса, мм, вычисляемая по формулам (Д.20) или (Д.21).

Д.4.2 Высоту 1-го пояса h_1, мм, вычисляют по формуле

$$h_1 = (th_1 - th_0) - h_{нх}, \qquad (Д.23)$$

где th_1, th_0 — высоты превышений, мм (графы 2, 3 таблицы Б.14);
$h_{нх}$ — высота нахлеста, мм (графа 4 таблицы Б.14).

Высоту k-го пояса h_k, мм, вычисляют по формуле

$$h_k = (th_k - th_{k-1}) - S_k h_{нхk} + S_{k+1} h_{нхk+1}, \quad (Д.24)$$

где S_k, S_{k+1} — индекс нахлеста k-пояса, принимают по таблице Б.14 (графа 8).

Д.5 Вычисление степени наклона резервуара

Д.5.1 При проведении измерений по 11.3 степень наклона η' вычисляют по формуле

$$\eta' = \frac{l_A}{H_\beta}, \quad (Д.25)$$

где l_A — проекция оси резервуара на горизонтальную плоскость, проходящую через центр в верхнем сечении 1-го пояса (рисунок Д.2), мм;

H_β — расстояние по вертикали между сечениями 1-го и k-го поясов (рисунок Д.2), мм.

Д.5.1.1 Значение l_A, мм, вычисляют по формуле

$$l_A = \sqrt{(X_A)^2 + (Y_A)^2}, \quad (Д.26)$$

где X_A, Y_A — координаты точки А в глобальной системе координат, мм.

Значения величин X_A, Y_A вычисляют по формулам:

$$X_A = a_в^k - a_в^1; \quad (Д.27)$$

$$Y_A = b_в^k - b_в^1. \quad (Д.28)$$

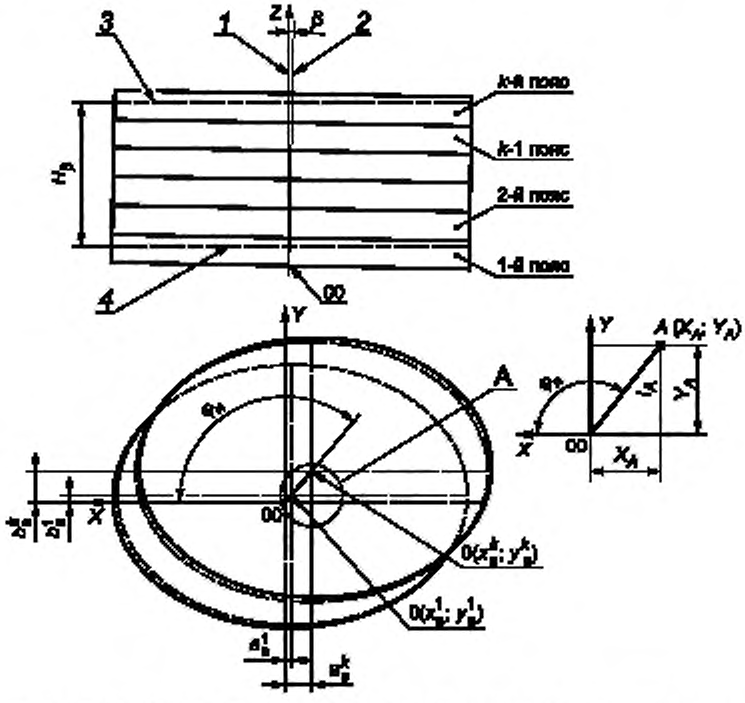
где $a_в^1$, $a_в^k$, $b_в^1$, $b_в^k$ — смещение систем координат от глобальной системы координат в верхних сечениях 1-го и k-го поясов по оси X и Y, вычисляемые по формулам (Д.6), (Д.7) соответственно, мм.

Значение H_β, мм, вычисляют по формуле

$$H_\beta = \frac{1}{N+1}\sum_{m=0}^{N} z_{mв}^k - \frac{1}{N+1}\sum_{m=0}^{N} z_{mв}^1, \quad (Д.29)$$

где $z_{mв}^k$, $z_{mв}^1$ — координаты по оси Z точек измерений, вычисляемые по формуле (Д.4), мм;

m, N — номер и число радиусов (измерений).



1 — вертикальная ось Z глобальной системы координат; *2* — ось резервуара, *3* — верхнее сечение k-го пояса; *4* — верхнее сечение 1-го пояса; 00 — начало глобальной системы координат

Рисунок Д.2 — Схема измерений степени и угла наклона при проведении методом внутренних измерений (см. 11.3)

Д.5.1.2 Направление угла наклона $\varphi_н$, град, вычисляют по формуле

$$\varphi_н = \text{arctg}\frac{Y_A}{X_A}, \quad (Д.30)$$

где X_A, Y_A — координаты, вычисляемые по формулам (Д.27), (Д.28) соответственно, мм.

Д.5.2 При проведении измерений по разделу 13 степень наклона резервуара η^* вычисляют по формуле

$$\eta'' = \frac{\pi \cdot (\Delta l_m)_{max}}{L_н}, \quad (Д.31)$$

где $L_н$ — длина окружности 1-го пояса, мм, вычисляемая по формуле (Д.12);

$(\Delta l_m)_{max}$ — максимальная разность превышения высот, мм, вычисляемая по формулам (Д.32) или (Д.33) по графику наклона резервуара (рисунок Д.4).

Д.5.2.1 Максимальную разность превышения высот $(\Delta l_m)_{max}$ вычисляют в следующей последовательности.

Определяют значение разности превышения высот на противоположных образующих:

- в секторе измерений при номере образующей m от 0 до (N/2) [см. А, рисунок Д.3] вычисляют по формуле

$$\Delta l'_m = l_m - l_{(N/2)+m}; \quad (Д.32)$$

- в секторе измерений при номере образующей m от (N/2) до N (см. В, рисунок Д.3) вычисляют по формуле

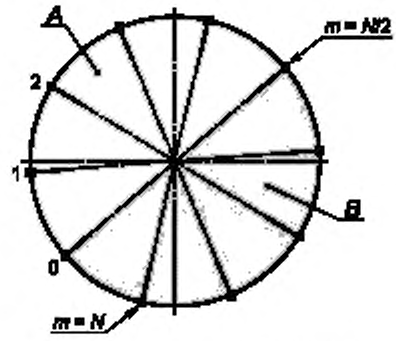
$$\Delta l''_m = l_m - l_{m-(N/2)}, \quad (Д.33)$$

где l_m — превышение высоты при установке вехи на образующей № m, мм;

$l_{(N/2)+m}$, $l_{m-(N/2)}$ — превышение высоты при установке вехи на образующей под номером (N/2) + m и m – (N/2), мм;

m — номер образующей, значения которого выбирают из ряда: 0, 1, 2,..., N;

N — число образующих окружности 1-го пояса резервуара.



0, 1, 2,..., m — номера образующих

Рисунок Д.3 — Схема секторов измерений

Строят график (рисунок Д.4) функции Δl_m, рассчитываемой по формулам (Д.32) и (Д.33). Если кривая, соединяющая точки графика Δl_m относительно абсциссы, имеет вид синусоиды с периодом, равным отрезку 0 — N (кривая В на рисунке Д.4), то резервуар стоит наклонно, если нет (кривая С) — резервуар не имеет наклона.

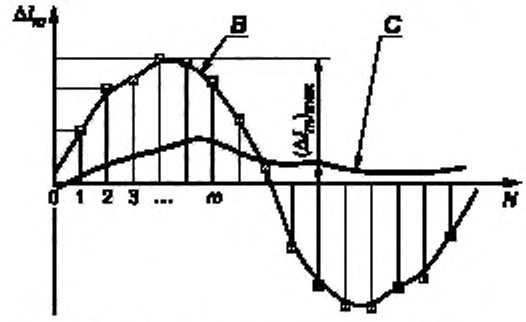


Рисунок Д.4 — График наклона резервуара

По максимальному значению разности $(l_m)_{max}$ на образующей m устанавливают направление наклона резервуара.

5.2.2 Значение угла направления наклона резервуара $\varphi_п$, град, вычисляют по формуле

$$\varphi_п = \frac{360}{N} m, \qquad (Д.34)$$

где m — номер образующей, на которой определено максимальное значение $(l_m)_{max}$;

N — число образующих.

Д.6 Вычисление вместимости «мертвой» полости резервуара

При вычислении вместимости «мертвой» полости резервуара проводят следующие вычисления параметров:

а) координаты точки касания днища грузом рулетки (начала отсчета);

б) высоты «мертвой» полости;

в) вместимости мертвой полости с учетом неровностей днища.

Полученные значения линейных величин округляют до целого миллиметра, объемов — до третьего знака после запятой в соответствии с правилами округления.

Д.6.1 Координаты точки касания днища грузом рулетки $b_п(X_п; Y_п; Z_п)$, мм, в глобальной системе координат $00(X_0; Y_0; Z_0)$ вычисляют по формуле

$$X_п = l_п \cdot \cos\varphi_п + a_в^1;$$

$$Y_п = l_п \cdot \sin\varphi_п + b_в^1;$$

$$Z_п = b_п - b_п = 0, \qquad (Д.35)$$

где $l_п$, $\varphi_п$, $b_п$ — значения параметров, указанные в таблице Б.9;

$a_в^1$, $b_в^1$ — координаты смещения станции съемки в 1-м поясе резервуара, вычисляемые по формулам (Д.6), (Д.7), мм, соответственно.

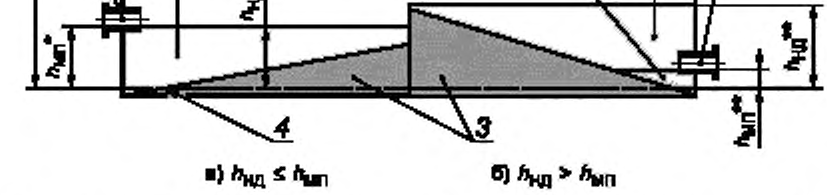
Д.6.2 Высоту «мертвой» полости резервуара $h_{МП}$ неровностей днища $h_{НД}$, мм, вычисляют по формулам

$$h_{МП} = th_{МП} - b_п; \qquad (Д.36)$$

$$h_{НД} = (Z_{i,m}^P)_{max}, \qquad (Д.37)$$

где $(Z_{i,m}^P)_{max}$ — координата точки $P_{i,m}$ с максимальным значением по оси Z, вычисляемая по формуле (Д.38), мм.

Д.6.3 Вместимость «мертвой» полости $V_{МП}$, м^3, вычисляют в пределах высоты «мертвой» полости $h_{МП}$ (рисунок Д.5).

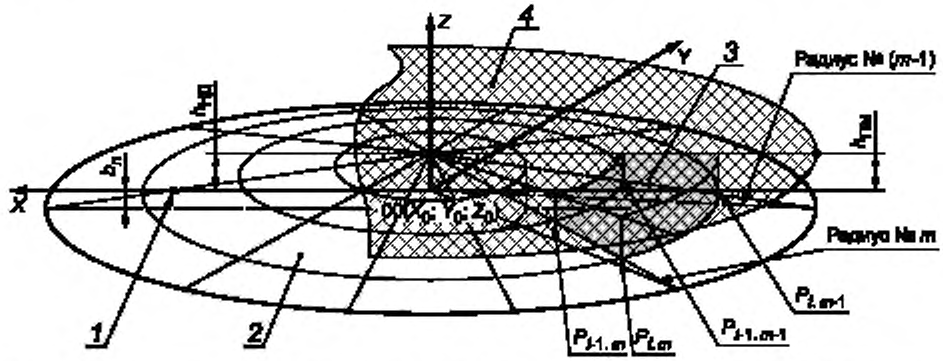


а) $h_{НД} \le h_{МП}$ б) $h_{НД} > h_{МП}$

1, *2* — ПРП, *3* — неровности днища, *4* — плоскость начала отсчета; $h_{МП}$ — высота «мертвой» полости резервуара; $V_{МП}$, — объем «мертвой» полости в пределах высоты «мертвой» полости при $h_{НД} \le h_{МП}$; $V_{МП}$,, — объем «мертвой» полости в пределах высоты «мертвой» полости при $h_{НД} > h_{МП}$; $\Delta V_{НД}$ — объем 1-го пояса резервуара в пределах высоты $(h_{НД} - h_{МП})$; h_1 — высота 1-го пояса

Рисунок Д.5 — Схема «мертвой» полости и неровностей днища

Вместимость «мертвой» полости вычисляют как сумму объемов в секторах, ограниченных поверхностью днища и плоскости на высоте «мертвой» полости резервуара (рисунок Д.6).



1 — точка касания днища грузом рулетки (начало отсчета); *2* — поверхность днища; *3* — вычисляемый объем в секторе; $P_{i,m-1}$; $P_{i-1,m-1}$; $P_{i-1,m}$; $P_{i,m}$ — координаты точек на поверхности днища *m* — (*m* - 1); *i* - (*i* - 1), где *m* — номер радиуса, *i* — номер точки измерений на радиусе *m*; *4* — горизонтальная плоскость на высоте мертвой полости $h_{МП}$; 00 — глобальная система координат

Рисунок Д.6 — Параметры вместимости «мертвой» полости

Д.6.3.1 Координаты точки поверхности днища на радиусе № *m* в *i*-й точке измерений $P_{i,m}$ (рисунок Д.7) в глобальной системе координат $00(X_0; Y_0; Z_0)$ вычисляют по формулам:

$$X^P_{i,m} = l_{i,m} \cdot \cos\varphi_m + a^1_в;$$
$$Y^P_{i,m} = l_{i,m} \cdot \sin\varphi_m + b^1_в; \qquad (Д.38)$$
$$Z^P_{i,m} = h_{i,m} - b_п,$$

где $l_{i,m}$, $h_{i,m}$, φ_m — параметры неровностей днища, значения принимают в таблице Б.6;

$b_п$ — высота точки касания днища грузом рулетки, значение принимают по таблице Б.9;

$a^1_в$, $b^1_в$ — координаты смещения станции съемки в 1-м поясе резервуара, вычисляемые по формулам (Д.6), (Д.7), мм, соответственно.

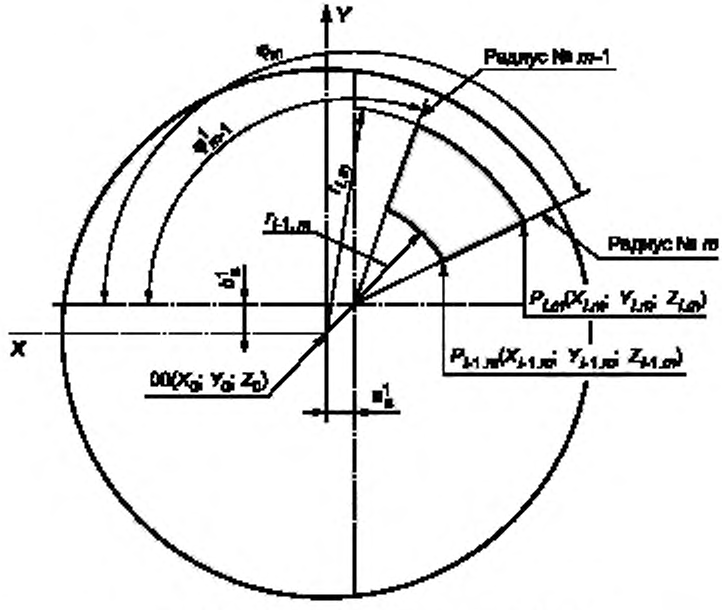


Рисунок Д.7 — Схема координат поверхности днища

Д.6.3.2 Вместимость объема $V^{МП}_{i,m}$, м^3, сектора $P_{i\cdot1,m}$; $P_{i,m}$; $P_{i-1,m-1}$; $P_{i,m-1}$ вычисляют по формуле

$$V^{МП}_{i,m} = 10^{-9} \cdot S^{п}_{i,m} \cdot h^{в}_{i,m}, \qquad (Д.39)$$

где $S^{д}_{i.m}$ — площадь и высота сектора, ограниченного точками поверхности днища $P_{i-1.m}$; $P_{i.m}$; $P_{i-1.m-1}$; $P_{i.m-1}$ и высотой $h_{МП}$, вычисляемая по формуле

$$S^{д}_{i.m} = \frac{\pi(\varphi_m - \varphi_{m-1})}{360}(r_i - r_{i-1}), \quad (Д.40)$$

здесь φ_m, φ_{m-1} — горизонтальные углы радиусов, принимают по таблице Б.8, deg°m's";

r_i, r_{i-1} — расстояние от начала глобальной системы координат 00(X_0; Y_0; Z_0) до точек измерений на поверхности днища, мм, вычисляемое по формуле

$$r_i = \frac{1}{2}\sqrt{\left(X^{P}_{i.m-1}\right)^2 + \left(Y^{P}_{i.m-1}\right)^2 - \left(X^{P}_{i.m}\right)^2 - \left(Y^{P}_{i.m}\right)^2};$$
$$r_{i-1} = \frac{1}{2}\sqrt{\left(X^{P}_{i-1.m-1}\right)^2 + \left(Y^{P}_{i-1.m}\right)^2 - \left(X^{P}_{i-1.m}\right)^2 - \left(Y^{P}_{i-1.m}\right)^2}. \quad (Д.41)$$

где $X^{P}_{i.m}$; $Y^{P}_{i.m}$ — координаты точки поверхности днища $P_{i.m}$, вычисляемые по формулам (Д.38), мм;

$h^{д}_{i.m}$ — высота сектора, ограниченного точками поверхности днища $P_{i-1,.m}$; $P_{i.m}$; $P_{i-1.m-1}$; $P_{i.m-1}$ и высотой $h_{МП}$, вычисляемая по формуле

$$h^{д}_{i.m} = h_{МП} - \frac{1}{4}\sum_{j=i-1}^{i}\sum_{k=m-1}^{m} Z_{j.k}, \quad (Д.42)$$

где $Z_{j.k}$ — координаты по оси Z точки в секторе $P_{i-1.m}$; $P_{i.m}$; $P_{i-1.m-1}$; $P_{i.m-1}$, мм.

Д.6.3.3 Вместимость «мертвой» полости $V_{МП}$, м^3, в пределах высоты «мертвой» полости $h_{МП}$ (рисунок Д.5) вычисляют по формуле

$$V_{МП} = \sum_{i=0}^{7}\sum_{m=0}^{N} V_{i.m} - \Delta V_{ВД}, \quad (Д.43)$$

где i — номер точки измерений на радиусе, выбирают из ряда: 0,1,...,8;

m — номер радиуса, выбирают из ряда: 0,1,...,N;

N — число радиусов, указанное в таблице 7;

$\Delta V_{ВД}$ — объем внутренних деталей в пределах высоты мертвой полости $h_{МП}$, значение принимают по таблице Б.10, м^3.

Примечание — Значение объема внутренней детали, увеличивающую вместимость пояса (например, люк-лаз) вносят со знаком «+».

Д.7 Вычисление объема жидкости, вытесненного плавающим покрытием

Д.7.1 Объем жидкости, вытесненной плавающим покрытием, $V_п$, м^3, вычисляют по формуле

$$V_п = \frac{m_п}{\rho_{ж.х}}, \quad (Д.44)$$

где $m_п$ — масса плавающего покрытия, кг, принимаемая по таблице Б.16 (графа 1).

Д.7.2 Уровень жидкости, соответствующий высоте всплытия плавающего покрытия резервуара (рисунок Д.8) $H_{всп}$, мм, вычисляют по формуле

$$H_{всп} = H_п + \frac{4\cdot 10^9\left(V_п - V_{опор}\right)}{\pi\left(D_п^2 - D_1^2 - D_2^2 ...\right)}, \quad (Д.45)$$

где $H_п$ — высота уровня расположения нижней границы плавающего покрытия (рисунок Д.8), мм, вычисляемая по формуле

$$H_п = h_п - b_п, \quad (Д.46)$$

здесь $h_п$ — расстояние от днища при крайнем положении, принимаемое по таблице Б.16 (графа 3), мм;

$b_п$ — высота превышения точки касания днища грузом рулетки, принимаемая по таблице Б.9 (графа 2), мм;

$V_{опор}$ — объем опор плавающего покрытия, вычисляемый по формуле

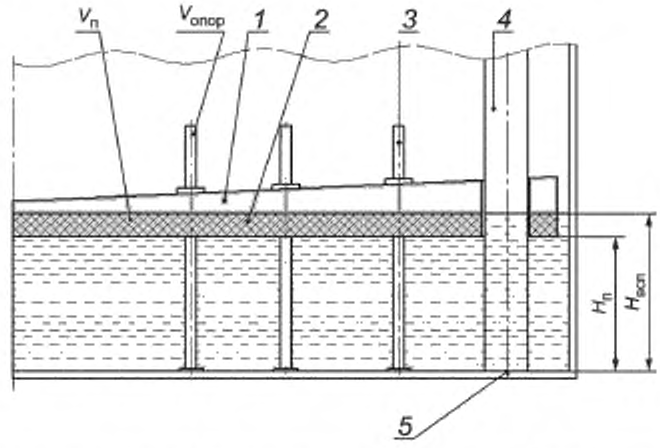
$$V_{опор} = \frac{\pi\left(D_{опор}\right)^4 \cdot h_{опор} \cdot n_{опор}}{4\cdot 10^9}, \quad (Д.47)$$

здесь $D_{опор}$, $n_{опор}$, $h_{опор}$ — параметры, принимаемые по таблице Б.16 (графы 8—10 соответственно).

Примечание — Если опоры смонтированы на днище резервуара, то значение принимают равным нулю, а объем относят к числу внутренних деталей;

$D_п$ — значение диаметра плавающего покрытия, принимаемое по таблице Б.16 (графа 2), мм;

D_1, D_2,... — значения диаметров отверстий в плавающем покрытии, принимаемые по таблице Б.16 (графы 5—7), мм.



1 — плавающее покрытие; *2* — погруженная часть; *3* — опора в рабочем положении; *4* — направляющая стойка плавающего покрытия; *5* — начало отсчета

Рисунок Д.8 — Параметры плавающего покрытия

Д.7.3 Объем жидкости от высоты уровня $h_{МП}$ до высоты уровня $H_{всп}$, соответствующего всплытию плавающего покрытия, $V_{всп}$, м^3, вычисляют по формуле

$$V_{всп} = \frac{\pi D_1^2}{4 \cdot 10^9}\left(H_{всп} - h_{МП}\right) - \left(V_п - V_{опор}\right). \qquad (Д.48)$$

Д.8 Вычисление вместимости поясов резервуара

При определении вместимости *k*-го пояса проводят вычисления:

а) вместимости $V_{ц1}$ недеформированного 1-го пояса от гидростатического давления налитой жидкости;

б) вместимости $V_{цk}$ недеформированного вышестоящего *k*-го пояса от гидростатического давления налитой жидкости;

в) поправки к вместимости резервуара за счет гидростатического давления жидкости $V_{гk}$ при наполнении;

г) приведение вместимости поясов к стандартной температуре 15 °С или 20 °С.

Д.8.1 Вместимость 1-го пояса:

а) в случае $h_{НД} \le h_{МП}$ [перечисление а) рисунок Д.5] $V'_{ц1}$, м^3, вычисляют по формуле

$$V'_{ц1} = V_{МП} + V'_1 - \Delta V_{ВД}, \qquad (Д.49)$$

где $V_{МП}$ — объем «мертвой» полости, вычисляемый по формуле (Д.43), м^3;

V'_1 — объем в пределах высоты уровня от $h_{МП}$ до H_1 (высота уровня верхней границы 1-го пояса), вычисляемый по формуле (Д.52), м^3;

$\Delta V_{ВД}$ — объем внутренних деталей в пределах высоты от $h_{МП}$ до $h_{НД}$, значение принимают по таблице Б.10 [с учетом примечания в экспликации к формуле (Д.43)], м^3,

б) в случае $h_{ДН} > h_{МП}$ [перечисление б) рисунок Д.5] $V''_{ц1}$, м^3, вычисляют по формуле

$$V''_{ц1} = V_{МП} + V''_1 + \Delta V_{НД} - \Delta V_{ВД}. \qquad (Д.50)$$

где $\Delta V_{НД}$ — объем в пределах высоты от $h_{МП}$ до $h_{НД}$, м^3;

V''_1 — объем в пределах высоты от $h_{НД}$ до H_1 (высота уровня верхней границы 1-го пояса), вычисляемый по формуле (Д.53), м^3;

в) для резервуаров с плавающим покрытием вместимость 1-го пояса вычисляют по формуле

$$V''_{ц1} = V_{МП} + V_{всп} + V''_1 - \Delta V_{ВД}, \qquad (Д.51)$$

где $V_{всп}$ — объем от уровня $h_{МП}$ до $H_{всп}$, вычисляемый по формуле (Д.48), м^3;

V''_1 — объем от уровня $H_{всп}$ до H_1 (высота уровня верхней границы 1-го пояса), м^3, вычисляемый по формуле (Д.54).

Д.8.1.1 Объем $\Delta V_{НД}$, м^3, вычисляют по формулам (Д.38)—(Д.43), с учетом того, что в формуле (Д.42) при вычислении высоты сектора $h^{A}_{i,m}$ вместо значения $h_{МП}$ подставляют значение $h_{НД}$, вычисляемое по формуле (Д.37).

Д.8.1.2 Значения объемов V'_1, V''_1, V'''_1, м^3, входящих в формулы (Д.49), (Д.50), (Д.51) вычисляют по формулам:

$$V'_1 = \frac{\pi D_1^2 \cdot (H_1 - h_{МП})}{4 \cdot 10^9} \cdot \sqrt{1+\eta^2}\ ; \qquad (Д.52)$$

$$V''_1 = \frac{\pi D_1^2 \cdot (H_1 - h_{НД})}{4 \cdot 10^9} \cdot \sqrt{1+\eta^2}\ ; \qquad (Д.53)$$

$$V'''_1 = \frac{\pi D_1^2 \cdot (H_1 - H_{всп})}{4 \cdot 10^9}, \qquad (Д.54)$$

где D_1 — внутренний диаметр 1-го пояса, мм, вычисляемый по формулам (Д.10), (Д.16);

$h_{МП}$ — высота «мертвой» полости, вычисляемая по формуле (Д.36), мм;

$h_{НД}$ — высота неровностей днища, вычисляемая по формуле (Д.37), мм;

η — степень наклона резервуара, вычисляемая по формулам (Д.25) или (Д.31);

H_1 — высота уровня на верхней границе 1-го пояса, вычисляемая по формуле

$$H_1 = h_1 - b_п, \qquad (Д.55)$$

где h_1 — высота 1-го пояса, мм, определяемая по 11.4 или вычисляемая по формуле (Д.24);

$b_п$ — высота превышения в точке касания днища грузом рулетки, мм (графа 2 таблицы Б.9).

Д.8.2 Вместимость $V_{цk}$, м^3, недеформированного k-го пояса от гидростатического давления вычисляют по формуле

$$V_{цk} = \frac{\pi D_k^2 \cdot H_k}{4 \cdot 10^9} \cdot \sqrt{1+\eta^2}, \qquad (Д.56)$$

где D_k — внутренний диаметр k-го пояса, мм, вычисляемый по формулам (Д.10) или (Д.22);

η — степень наклона резервуара, вычисляемая по формуле (Д.31);

H_k — высота уровня на верхней границе k-го пояса, вычисляемая по формуле

$$H_k = h_K - b_п, \qquad (Д.57)$$

где h_k — высота k-го пояса, мм, вычисляемая по формулам (Д.11) или (Д.24);

$b_п$ — высота превышения в точке касания днища грузом рулетки, мм (графа 2 таблицы Б.9).

Д.9 Вычисление поправки к вместимости за счет гидростатического давления

Поправку к вместимости резервуара за счет гидростатического давления столба налитой жидкости $\Delta V_{г.k}$ при наполнении k-го пояса вычисляют по формуле

$$\Delta V_{г.k} = A_2 \cdot \left\{ \left[\frac{0{,}8 h_1}{\delta_1} \left(\sum_{j=1}^{k} h_j - \frac{h_1}{2} \right) + \sum_{n=2}^{k-1} \left[\frac{h_n}{\delta_n} \left(\sum_{j=1}^{k-1} h_j - \frac{h_n}{2} \right) \right] \right] \right\}, \qquad (Д.58)$$

где h_1, δ_1 — высота и толщина стенки 1-го пояса;

h_j — высота уровня k-го наполненного пояса;

h_n, δ_n — высота уровня и толщина n-го вышестоящего пояса;

n — номер вышестоящего пояса;

A_2 — постоянный коэффициент для калибруемого резервуара, вычисляемый по формуле

$$A_2 = \frac{\rho_{ж.х} \cdot g \cdot \pi D_1^3 \cdot \sqrt{1+\eta^2}}{4 \cdot 10^{12} \cdot E}, \qquad (Д.59)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2 (g = 9,8066 м/с^2);

$\rho_{ж.х}$ — плотность хранимой жидкости (графа 3 таблицы Б.15);

D_1 — внутренний диаметр 1-го пояса, вычисляемый по формулам (Д.10) или (Д.16), мм.

Д.10 Вычисление вместимости резервуара

Д.10.1 Вместимость резервуара при температуре калибровки V_t, соответствующую уровню налитой жидкости H, вычисляют по формуле

$$V_t = V_1 + \sum_{i=2}^{n} V_{цi} + \Delta V_{г.k} + V_{ВД}, \qquad (Д.60)$$

где n — число наполненных поясов резервуара;

$V_{ВД}$ — объем внутренних деталей, находящихся в резервуаре от уровня $h_{МП}$ до H.

Примечание — Вместимость последнего частично наполненного пояса вычисляют по фактической высоте его наполнения.

Д.10.2 Вместимость резервуара $V(H)$, приведенную:

- к стандартной температуре 15 °С, вычисляют по формуле

$$V(H)_{15}^{t} = V_t \cdot [1 + 2\alpha_{ст}(t_{ст} - 15)]^{-1}; \quad (Д.61)$$

- к стандартной температуре 20 °С вычисляют по формуле

$$V(H)_{20}^{t} = V_t \cdot [1 + 2\alpha_{ст}(t_{ст} - 20)]^{-1}, \quad (Д.62)$$

где $t_{ст}$ — температура стенки резервуара, принимаемая по таблице Б.2 (графа 2);

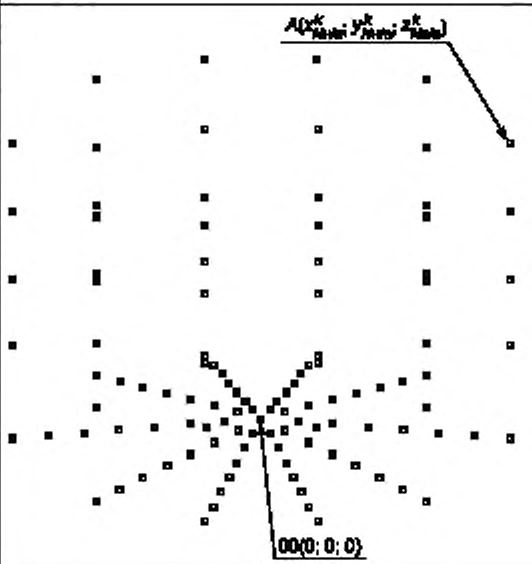
$\alpha_{ст}$ — коэффициент линейного расширения материала стенки резервуара, для стали принимают значение: $12{,}5 \cdot 10^{-6}$ 1/°С.

Приложение Е
(обязательное)

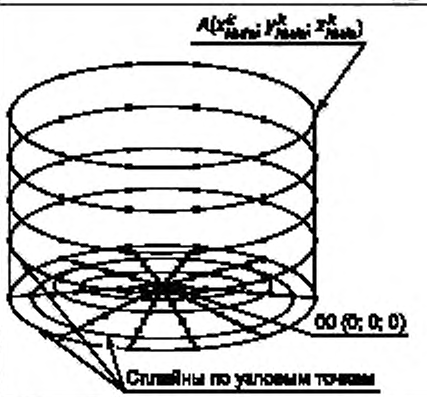
Алгоритм обработки результатов измерений при построении трехмерной модели САПР с применением тахеометра

Е.1 Основные операции обработки результатов при построении трехмерной модели САПР с применением тахеометра приведены в таблице Е.1

Таблица Е.1

Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 1. Вычисление координат точек поверхности резервуара	ПО вычисления координат точек	Массив координат точек (x_{ij}; y_{ij}; z_{ij})
Этап 2. Формирование проекта	САПР	Файл проекта
Этап 3. Формирование системы координат	САПР/3D-эскиз	Глобальная система координат (СК)
Этап 4. Построение точек по координатам (этап 1)	САПР/3D-эскиз/координаты точек/формулы (Д.2), (Д.3)	

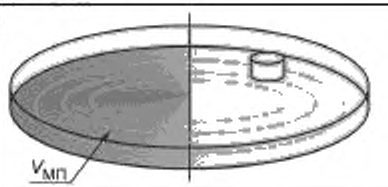
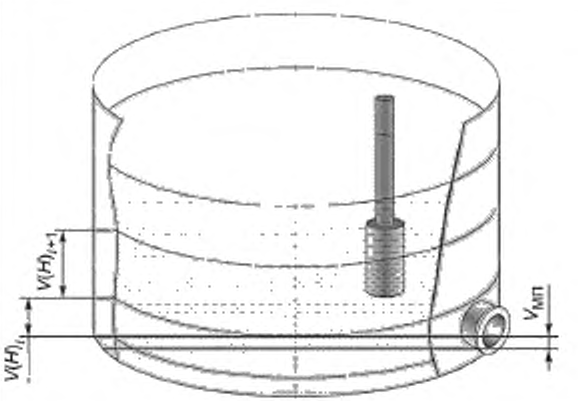
Продолжение таблицы Е.1

Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 5. Построение сплайнов по узловым точкам	САПР/3D-эскиз/узловые точки	
Этап 6. Формирование поверхности днища	САПР/3D-эскиз/сплайны на днище	

Продолжение таблицы Е.1

Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 7. Формирование поверхности стенки резервуара по поясам	САПР/3D-эскиз/сплайны на поясах резервуара	
Этап 8. Формирование плоскости А и плоскости начала отсчета	САПР/3D-модель/рисунок А.18, таблица Б.7	

Продолжение таблицы Е.1

Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 9. Моделирование внутренних деталей	САПР/3D-модель/параметры внутренних деталей (таблицы Б.7, Б.8)	
Этап 10. Измерение объема «мертвой» полости	САПР/3D-модель/сечение плоскостью на уровне высоты «мертвой» полости, параллельной плоскости начала отсчета	
Этап 11. Измерения посантиметровой вместимости резервуара	САПР/3D-модель/сечение модели плоскостями, параллельными плоскости начала отсчета с шагом 1 см	

Окончание таблицы Е.1

Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 12. Вычисление неопределенности вместимости на уровнях наполнения	Формула (И.76)	Значения неопределенности посантиметровой вместимости резервуара
Этап 13. Внесение поправки от деформации стенок к вместимости	Формула (Д.58)	Значение поправки от деформации стенок к вместимости
Этап 14. Приведение посантиметровой вместимости к стандартной температуре 15 °С или 20 °С	Формулы (Д.61) или (Д.62) соответственно	Приведенное значение посантиметровой вместимости к стандартной температуре 15 °С или 20 °С
Этап 15. Формирование градуировочной таблицы и протокола измерений	ПО формирования градуировочной таблицы	Оформленная градуировочная таблица с протоколом измерений

Приложение Ж
(обязательное)

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

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

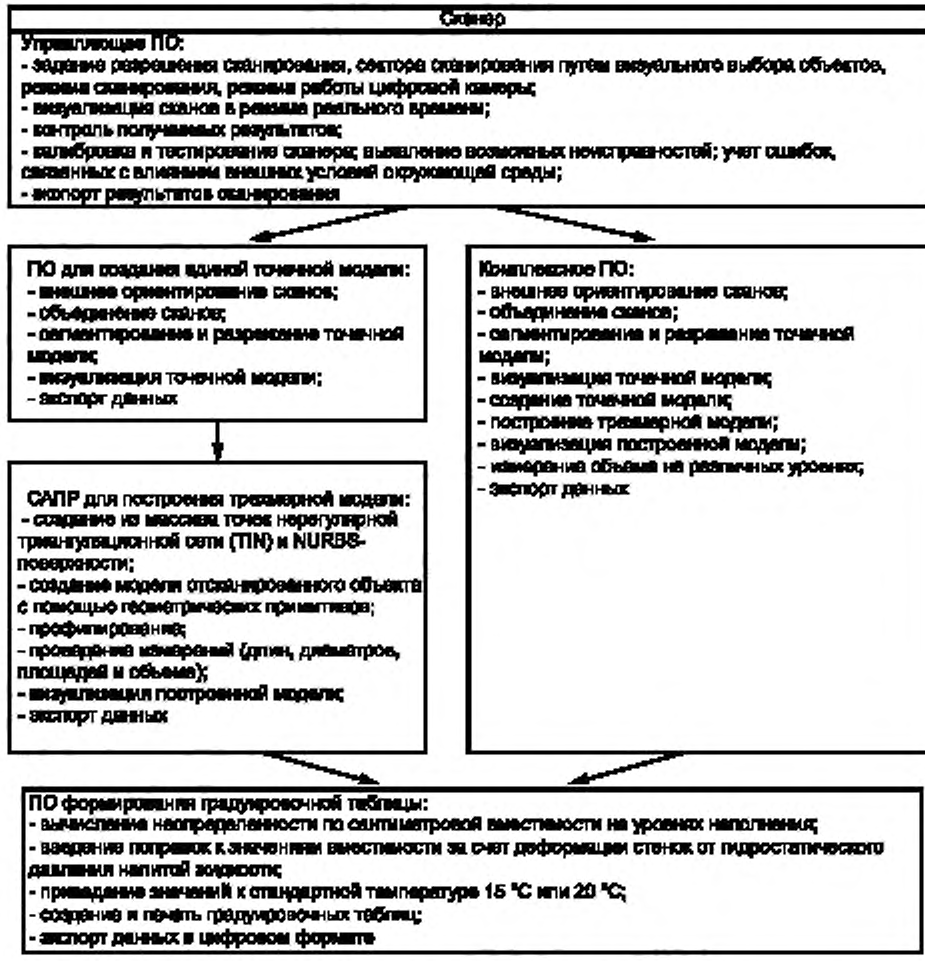
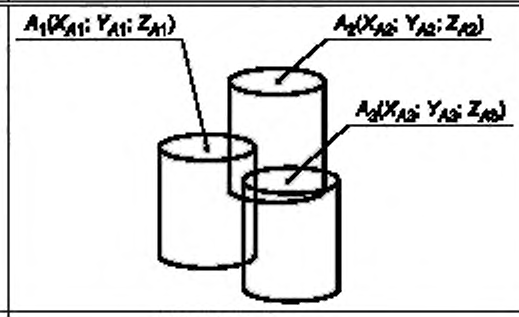
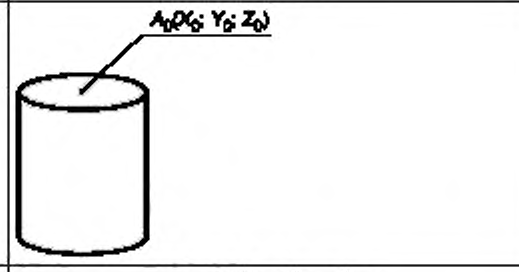
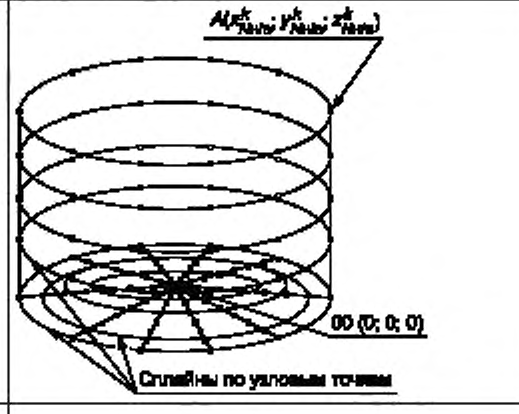


Рисунок Ж.1 — Алгоритм обработки результатов измерений

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

Таблица Ж.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	САПР/3D-эскиз/узловые точки	
Этапы 4—14.	Проводят соответствующие аналогичные операции, приведенные в этапах 5—15 таблицы Е.1 приложения Е	—

Приложение И
(обязательное)

Оценка неопределенности вместимости резервуара при обработке результатов измерений по приложению Д (применение тахеометра)

И.1 При вычислении неопределенности вместимости резервуара применяют требования ГОСТ 34100.3 с учетом [4] (см. таблицы И.1—И.3).

Таблица И.1 — Показатели точности средств и параметров измерений

Обозначение	Наименование показателя
$U^{ML}(U^{MLG})$, мм	Расширенная неопределенность измерительной рулетки (с грузом), вычисляемая по ГОСТ 7502: - для рулетки 2-го класса точности по формуле $U^{ML}(U^{MLG})' = \pm(0{,}30 + 0{,}15[L - 1])$; - для рулетки 3-го класса точности по формуле $U^{ML}(U^{MLG})' = \pm(0{,}40 + 0{,}20[L - 1])$, где L — число полных и неполных метров в отрезке
S	Число укладок ленты при измерении длины окружности 1-го пояса
k	Коэффициент обхвата, принимают равным двум, что соответствует 95 %-ному доверительному интервалу
e	Цена деления шкалы ленты рулетки, принимаемая равной 1 мм
e_1, мм	Неопределенность расположения ленты рулетки на окружности 1-го пояса, принимаемая по таблице И.3
s, мм	Стандартное отклонение разностей, принимаемое равным 0,001
N	Число радиусов (точек измерений, при внутренних измерениях) или образующих (наружные измерения)
$\alpha_{ст}$, 1/°С	Коэффициент линейного расширения материала стенки резервуара
$t_{15/20}$, °С	Температура при стандартных условиях, принимают равной 15 °С или 20 °С
$t_{ст}$, °С	Температура стенки резервуара
$u(\alpha_{ст})$, 1/ °С	Стандартная неопределенность, учитывающая изменение температурного коэффициента материала стенки, в диапазоне от минус 50 °С до плюс 50 °С, значение, принимают равным $2 \cdot 10^{-6}$ 1/°С
$u(t^{k}_{ст})$, °С	Стандартная неопределенность измерения температуры стенки при калибровке
$U(\delta)$, мм	Расширенная неопределенность толщины стенки, краски, покрытия, принимаемая по описанию типа ультразвукового толщиномера
$H^{k}_{н/в}$, мм	Высота в нижнем/верхнем сечении k-пояса
e_2, мм	Погрешность считывания показаний с дисплея тахеометра, принимаемая равной 1 мм
$U(\rho)$, кг/м^3	Расширенная неопределенность плотности жидкости, принимаемая равной 1,0 кг/м^3
$e(E)$, Н/м^2	Погрешность определения модуля Юнга материала стенок резервуара, принимаемая равной $5 \cdot 10^{-9}$ Н/м^2
$U(l)$, мм	Расширенная неопределенность линейных расстояния, принимаемая по описанию типа тахеометра

Окончание таблицы И.1

Обозначение	Наименование показателя
$U(\theta)$, "	Расширенная неопределенность угловых измерений, принимаемая по описанию типа тахеометра
$e(\theta_б)$, "	Погрешность вертикальной оси тахеометра по горизонту, принимают значение 2"
$e(t_р)$, °С	Максимальная погрешность измерения температуры стенки резервуара в эксплуатации, по умолчанию принимают значение 5 °С

Таблица И.2 — Показатели и формулы расчета

Наименование показателя	Формулы расчета
Стандартная неопределенность базовой высоты	$u^{MLG} = \frac{U^{MLG}}{\sqrt{3}}$ (И.1)
Метод внутренних измерений	
Стандартная неопределенность линейного расстояния, мм	$u(l) = \frac{U(l)}{k}$ (И.2)
Стандартная неопределенность угловых измерений, рад	$u(\varphi) = u(V) = \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{U(\theta)}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{e(\theta_б)}{\sqrt{3}}\right)^2}$ (И.3)
Координата точки на m-й образующей в нижнем/верхнем сечении k-го пояса, мм	$x^k_{тн/в} = l^k_{тн/в} \cdot \cos(\varphi^k_{тн/в}) \cdot \sin(V^k_{тн/в})$; $y^k_{тн/в} = l^k_{тн/в} \cdot \sin(\varphi^k_{тн/в}) \cdot \sin(V^k_{тн/в})$; $z^k_{тн/в} = l^k_{тн/в} \cdot \cos(V^k_{тн/в})$ (И.4)
Стандартная неопределенность координаты точки на m-й образующей в нижнем/верхнем сечении k-го пояса, мм	$u(x_l)^k_{тн/в} = \frac{u(l) \cdot x^k_{тн/в}}{l^k_{тн/в}}$; $u(x_\varphi)^k_{тн/в} = -u(\varphi) \cdot x^k_{тн/в} \ \mathrm{tg}(\varphi)^k_{тн/в}$; $u(x_V)^k_{тн/в} = \frac{u(V) \cdot x^k_{тн/в}}{\mathrm{tg}(V)^k_{тн/в}}$; $u(X)^k_{тн/в} = \sqrt{\left[u(x_l)^k_{тн/в}\right]^2 + \left[u(x_\varphi)^k_{тн/в}\right]^2 + \left[u(x_V)^k_{тн/в}\right]^2}$ (И.5)

Продолжение таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета	
Стандартная неопределенность координаты точки на m-й образующей в нижнем/верхнем сечении k-го пояса, мм	$u(y_l)^k_{m\,н/в} = \dfrac{u(l)\,y^k_{m\,н/в}}{l^k_{m\,н/в}};\ u\left(y_\varphi\right)^k_{m\,н/в} = \dfrac{u(\varphi)\,y^k_{m\,н/в}}{\mathrm{tg}(\varphi)^k_{m\,н/в}};$ $u(y_V)^k_{m\,н/в} = \dfrac{u(V)\,y^k_{m\,н/в}}{\mathrm{tg}(V)^k_{m\,н/в}};\ u(Y)^k_{m\,н/в} = \sqrt{\left[(y_l)^k_{m\,н/в}\right]^2 + \left[\left(y_\varphi\right)^k_{m\,н/в}\right]^2 + \left[(y_V)^k_{m\,н/в}\right]^2}$	(И.6)
	$u(z_l)^k_{m\,н/в} = \dfrac{u(l)\,z^k_{m\,н/в}}{l^k_{m\,н/в}};\ u(z_V)^k_{m\,н/в} = -u(V)\,z^k_{m\,н/в}\cdot\mathrm{tg}(V)^k_{m\,н/в};\ u(Z)^k_{m\,н/в} = \sqrt{\left[u(z_l)^k_{m\,н/в}\right]^2 + \left[u(z_V)^k_{m\,н/в}\right]^2}$	(И.7)
Смещение координат съемки от глобальной системы координат по осям X, Y в нижнем/верхнем сечении k-го пояса, мм	$a^k_{н/в} = \left[\sum_{m=0}^{N} x^k_{m\,н/в} - R^k_{н/в}\sum_{m=0}^{N}\dfrac{\left(x^k_{m\,н/в} - a^k_{н/в}\right)}{r^k_{m\,н/в}}\right]\cdot\dfrac{1}{N+1};$	(И.8)
	$b^k_{н/в} = \left[\sum_{m=0}^{N} y^k_{m\,н/в} - R^k_{н/в}\sum_{m=0}^{N}\dfrac{\left(y^k_{m\,н/в} - b^k_{m\,н/в}\right)}{r^k_{m\,н/в}}\right]\dfrac{1}{N+1}$	
Стандартная неопределенность смещения координат съемки от глобальной системы координат по осям X, Y в нижнем/верхнем сечении k-го пояса, мм	$u(a)^k_{н/в} = \dfrac{1}{N+1}\sqrt{\sum_{m=0}^{N}\left[u(X_m)^k_{н/в}\cdot x^k_{m\,н/в}\right]^2 + \sum_{m=0}^{N}\left[u(X_m)^k_{н/в}\cdot\dfrac{x^k_{m\,н/в} - a^k_{н/в}}{R^k_{н/в}}\right]^2};$	(И.9)
	$u(b)^k_{н/в} = \dfrac{1}{N+1}\sqrt{\sum_{m=0}^{N}\left[u(Y_m)^k_{н/в}\ y^k_{m\,н/в}\right]^2 + \sum_{m=0}^{N}\left[u(Y_m)^k_{н/в}\cdot\dfrac{y^k_{m\,н/в} - b^k_{н/в}}{R^k_{н/в}}\right]^2}$	(И.10)
Расстояние до геометрического центра резервуара в нижнем/верхнем сечении k-го пояса (радиус), мм	$r^k_{m\,н/в} = \sqrt{\left(x^k_{m\,н/в} - a^k_{m\,н/в}\right)^2 + \left(y^k_{m\,н/в} - b^k_{m\,н/в}\right)^2}$	(И.11)
Стандартная неопределенность радиусов в нижнем/верхнем сечении k-го пояса, мм	$u\left(R_{ang}\right)^k_{н/в} = \dfrac{1}{N+1}\sqrt{\sum_{m=0}^{N}\left[u(X_m)^k_{н/в}\cdot\dfrac{x^k_{m\,н/в} - a^k_{н/в}}{R^k_{н/в}}\right]^2 + \sum_{m=0}^{N}\left[u(Y_m)^k_{н/в}\cdot\dfrac{y^k_{m\,н/в} - b^k_{н/в}}{R^k_{н/в}}\right]^2 + \sum_{m=0}^{N}\left[u(a)^k_{н/в}\cdot\dfrac{x^k_{m\,н/в} - a^k_{н/в}}{R^k_{н/в}}\right]^2 + \sum_{m=0}^{N}\left[u(b)^k_{н/в}\ \dfrac{y^k_{m\,н/в} - b^k_{н/в}}{R^k_{н/в}}\right]^2}$	(И.12)
Точность подбора радиусов k-го пояса, мм	$\left\lvert R^k_{н/в} - R^k_{i-1\,н/в}\right\rvert \le 0{,}001$	(И.13)

Продолжение таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета	
Стандартная неопределенность подбора радиусов *k*-го пояса, мм	$u(R_{LS}) = \frac{s}{\sqrt{N+1}}$	(И.14)
Стандартная неопределенность поправки на температурное расширение материала стенки резервуара *k*-го пояса, 1/°С (графа 9 таблицы Б.2)	$u(\alpha_{ст}) = \frac{e(\alpha_{ст})}{2\sqrt{3}}$	(И.15)
Стандартная неопределенность поправки на температурный градиент стенки резервуара при калибровке *k*-го пояса, °С (графы 3, 4 таблицы Б.2)	$u(t_р) = \frac{\left(t_{ст}^{max} - t_{ст}^{min}\right)}{2\sqrt{3}}$	(И.16)
Стандартная неопределенность поправок радиуса резервуара *k*-го пояса, 1/°С	$u(R_t) = R^k\sqrt{\left\{\left[2u(\alpha_{ст})\cdot(t_{15/20} - t_{ст})\right]^2 + \left[2u(t_{ст})\ \alpha_{ст}\right]^2\right\}}$	(И.17)
Стандартная неопределенность радиуса резервуара *k*-го пояса, мм	$u(R)^k = \sqrt{\left[u\left(R_{strg}\right)_н^k\right]^2 + \left[u\left(R_{strg}\right)_в^k\right]^2 + \left[u(R_{LS})\right]^2 + \left[u(R_t)\right]^2}$	(И.18)
Высота *k*-го пояса резервуара, мм	$h_k = th_{k+1} - th_k$	(И.19)
Стандартная неопределенность высоты поясов резервуара, мм	$u(z_{lk}) = u(l)\cdot\cos(V_k)$; $u(z_{Vk}) = u(V)\cdot l_k\cdot\sin(V_k)$; $u(th_k) = \sqrt{u(z_{lk})^2 + u(z_{Vk})^2}$; $u(h_k) = \sqrt{\left[u(th_{k+1})\cdot h_{k+1}\right]^2 + \left[u(th_k)\cdot h_k\right]^2}$, где $l_k = \sqrt{(t_k)^2 + (w_k)^2}$; $V_k = \operatorname{arctg}\frac{w_k}{t_k}$.	(И.20)
Стандартная неопределенность отсчета показаний ленты, мм (графа 4 таблицы Б.11)	$u(L_н)_r = e_1\sqrt{\frac{S}{12}}$	(И.21)
Стандартная неопределенность расположения ленты рулетки к поверхности стенки резервуара, мм	$u(L_н)_р = \frac{e_1}{2\sqrt{3}}$	(И.22)
Стандартная неопределенность совмещения ленты рулетки, мм (графа 4 таблицы Б.11)	$u(L_н)_с = e_1\sqrt{\frac{S}{12}}$	(И.23)

Продолжение таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета
Длина окружности 1-го пояса, мм	$L_н = \frac{L_{н1} + L_{н2}}{2} - \sum_{j=1}^{n_1} N_{обх j}$ (И.24)
Стандартная неопределенность длины наружной окружности 1-го пояса, мм	$u(L_н) = \sqrt{\frac{\left[u(L_н)_1\right]^2 + \left[u(L_н)_2\right]^2 + \left[u(L_н)_с\right]^2}{3} + \left(2u^{ML}\right)^2}$, (И.25) где $u^{ML} = \frac{U^{ML}}{\sqrt{3}}$
Стандартная неопределенность толщины стенки резервуара, слоя краски, покрытия (индексы: ст, кр, п), мм	$u^{\delta} = \sqrt{\frac{\left[\left(U^{\delta}\right)_{ст}\right]^2 + \left[\left(U^{\delta}\right)_{кр}\right]^2 + \left[\left(U^{\delta}\right)_{п}\right]^2}{2\sqrt{3}}}$ (И.26)
Длина внутренней окружности 1-го пояса, мм	$L_{вн} = L_н - 2\pi \cdot (\delta_1 + \delta_{с\,к} + \delta_{с\,п})$ (И.27)
Стандартная неопределенность длины внутренней окружности 1-го пояса, мм	$u(L_{вн}) = \sqrt{\left[u(L_н)\right]^2 + \left[2\pi \cdot u^{\delta}\right]^2}$ (И.28)
Внутренний диаметр 1-го пояса, мм	$\underline{вн}$ (И.29)
Стандартная неопределенность внутреннего диаметра 1-го пояса, мм	$u(D_1) = \sqrt{\left[\frac{u(L_{вн})}{\pi}\right]^2 + \left[\frac{L_{вн} \cdot u(\pi)}{\pi^2}\right]^2}$, (И.30) где $u(\pi)$ принимают равным 0,000012
Стандартная неопределенность среднего радиального отклонения по вертикали окружности в нижнем/верхнем сечении k-го пояса, мм	$u\left(a^k_{н/в}\right) = \sqrt{\frac{\left[\left(H^k_{н/в} - H^1_в\right)\eta\right]^2 + \left[2\ u\left(e_2\right)\right]^2}{12}}$ (И.31)
Стандартная неопределенность внутреннего диаметра k-го пояса, мм	$u\left(D^k\right) = \sqrt{\left[u(D_1)\right]^2 + \frac{1}{2N}\left(\sum_{i=2}^{k}\left[u\left(a^k_{iн}\right)\right]^2 + \sum_{i=2}^{k}\left[u\left(a^k_{iв}\right)\right]^2\right) + \left[u^{\delta}\right]^2}$ (И.32)

Продолжение таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета
Степень наклона по 11.3	$\eta' = \frac{I_A}{H_\beta}$, (И.33) $I_A = \sqrt{(X_A)^2 + (Y_A)^2}$, (И.34) $X_A = a_в^k - a_в^1$; (И.35) $Y_A = b_в^k - b_в^1$; (И.36) $H_\beta = \frac{1}{N+1}\sum_{m=0}^{N} z_{mв}^k - \frac{1}{N+1}\sum_{m=0}^{N} z_{mв}^1$ (И.37)
Стандартная неопределенность степени наклона, вычисляемая по 11.3	$u(\eta')_I = \frac{u(I_A)}{H_\beta}$; $u(\eta')_H = -\frac{I_A \cdot u(H_\beta)}{(H_\beta)^2}$; $u(\eta') = \sqrt{\left[\frac{u(I_A)}{H_\beta}\right]^2 + \left[\frac{I_A \cdot u(H_\beta)}{(H_\beta)^2}\right]^2}$, (И.38) где $u(I_A) = u(H_\beta) = u(I)$, вычисляемая по формуле (И.2)
Степень наклона по разделу 13	$\eta'' = \frac{\pi \cdot (\Delta l_m)_{max}}{L_н}$; (И.39)
Стандартная неопределенность степени наклона, вычисляемая по разделу 13	$\eta'' = \frac{\pi \cdot (\Delta l_m)_{max}}{L_н}$; $u(\eta'')_{\Delta l} = \frac{u(l) \cdot \eta''}{(\Delta l_m)_{max}}$; $u(\eta'')_L = -\frac{\eta'' \cdot u(L_н)}{(L_н)^2}$; $u(\eta'') = \sqrt{\left[\frac{u(l) \cdot \eta''}{(\Delta l_m)_{max}}\right]^2 + \left[\frac{\eta'' \cdot u(L_н)}{u(L_н)^2}\right]^2}$ (И.40)
«Мертвая» полость резервуара	
Координаты точки поверхности днища на радиусе № m в i-й точке измерений $P_{i,m}$ в глобальной системе координат $00(X_0; Y_0; Z_0)$, мм	$X_{i,m}^P = l_{i,m} \cdot \cos(\varphi_m) + a_в^1$; $Y_{i,m}^P = l_{i,m} \cdot \sin(\varphi_m) + b_в^1$; $Z_{i,m}^P = h_{i,m} - b_п$ (И.41)

Продолжение таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета	
Стандартная неопределенность координаты точки поверхности днища на радиусе № m в i-й точке измерений $P_{i\,m}$ в глобальной системе координат $0(X_0; Y_0; Z_0)$, мм	$u(xP_l)_{i\,m} = \dfrac{u(l)\,X^P_{i\,m}}{l_{i\,m}}$; $u\left(xP_\varphi\right)_{i\,m} = -u(\varphi)\cdot X^P_{i\,m}\cdot \mathrm{tg}(\varphi_m)$; $u(xP)_{i\,m} = \sqrt{\left[u(xP_l)_{i\,m}\right]^2 + \left[u\left(xP_\varphi\right)_{i\,m}\right]^2 + \left[u(a)^1_2\right]^2}$, где $u(a)^1_в$ — вычисляют для 1-го пояса по формуле (И.9)	(И.42)
	$u(yP_l)_{i\,m} = \dfrac{u(l)\cdot y^P_{i\,m}}{l_{i\,m}}$; $u\left(yP_\varphi\right)_{i\,m} = \dfrac{u(\varphi)\ y^P_{i\,m}}{\mathrm{tg}(\varphi_m)}$; $u(YP)_{i\,m} = \sqrt{\left[u(xP_l)_{i\,m}\right]^2 + \left[u\left(xP_\varphi\right)_{i\,m}\right]^2 + \left[u(b)^1_в\right]^2}$, где $u(b)^1_в$ — вычисляют для 1-го пояса по формуле (И.10)	(И.43)
	$u(ZP)_{i\,m} = \dfrac{u(l)}{\sqrt{6}}$	(И.44)
Координаты точки поверхности неровности днища, мм	$r_{i-1} = \dfrac{1}{2}\sqrt{\left(X^P_{i-1\,m-1}\right)^2 + \left(Y^P_{i-1\,m}\right)^2 - \left(X^P_{i-1\,m}\right)^2 - \left(Y^P_{i-1\,m}\right)^2}$; $r_i = \dfrac{1}{2}\sqrt{\left(X^P_{i\,m-1}\right)^2 + \left(Y^P_{i\,m-1}\right)^2 - \left(X^P_{i\,m}\right)^2 - \left(Y^P_{i\,m}\right)^2}$	(И.45)
Стандартная неопределенность координаты точки поверхности неровности днища, мм	$u(r_{i\ 1}) = \dfrac{u\left(X^P_{i-1\,m-1}\right)\cdot\left(X^P_{i-1\,m-1}\right) + u\left(Y^P_{i-1\,m-1}\right)\left(Y^P_{i-1\,m-1}\right) - u\left(X^P_{i-1\,m}\right)\cdot\left(X^P_{i-1\,m}\right) - u\left(Y^P_{i-1\,m}\right)\cdot\left(Y^P_{i-1\,m}\right)}{2\sqrt{\left(X^P_{i-1\,m-1}\right)^2 + \left(Y^P_{i-1\,m-1}\right)^2 + \left(X^P_{i-1\,m}\right)^2 + \left(Y^P_{i-1\,m}\right)^2}}$; $u(r_i) = \dfrac{u\left(X^P_{i\,m\ 1}\right)\cdot\left(X^P_{i\,m\ 1}\right) + u\left(Y^P_{i\,m\ 1}\right)\cdot\left(Y^P_{i\,m\ 1}\right) - u\left(X^P_{i\,m}\right)\cdot\left(X^P_{i\,m}\right) - u\left(Y^P_{i\,m}\right)\cdot\left(Y^P_{i\,m}\right)}{2\sqrt{\left(X^P_{i\,m-1}\right)^2 + \left(Y^P_{i\,m-1}\right)^2 + \left(X^P_{i\,m}\right)^2 + \left(Y^P_{i\,m}\right)^2}}$	(И.46)
Площадь элемента объема «мертвой» полости, мм^2	$S^{\text{п}}_{i\,m} = \dfrac{\pi\left(\varphi_m - \varphi_{m-1}\right)}{360}\left(r_i - r_{i-1}\right)^2$	(И.47)

Продолжение таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета	
Стандартная неопределенность площади элемента объема «мертвой» полости, мм^2	$u\left(S^{\text{л}}_{i\,m}\right)_{\varphi} = \frac{u(\varphi)\,\pi}{360}\left(r_i - r_{i-1}\right)^2$; $u\left(S^{\text{л}}_{i\,m}\right)_{r} = \frac{\pi u(l)}{180}\left(\varphi_m - \varphi_{m-1}\right)$; $u\left(S^{\text{л}}_{i\,m}\right) = \sqrt{\left[u\left(S^{\text{л}}_{i\,m}\right)_{\varphi}\ \left(\varphi_m - \varphi_{m-1}\right)\right]^2 + \left[u\left(S^{\text{л}}_{i\,m}\right)_{r}\cdot\left(r_i - r_{i-1}\right)\right]^4}$	(И.48)
Высота элемента объема «мертвой» полости, мм	$h^{\text{л}}_{i\,m} = h_{\text{МП}} - \frac{1}{4}\sum_{j=l}^{i}\sum_{1k=m}^{m} Z_{j\,k}$	(И.49)
Стандартная неопределенность высоты элемента объема «мертвой» полости, мм	$u\left(h^{\text{л}}_{i\,m}\right) = \sqrt{\left[u\left(h_{\text{МП}}\right)\right]^2 + \frac{1}{16}\sum_{j=l}^{i}\sum_{1k=m}^{m}\left[u\left(Z_{j\,k}\right)\right]^2}$	(И.50)
Объем элемента «мертвой» полости, м^3	$V^{\text{МП}}_{i\,m} = 10^{-9}\cdot S^{\text{л}}_{i\,m}\cdot h^{\text{л}}_{i\,m}$	(И.51)
Стандартная неопределенность объема элемента «мертвой» полости, м^3	$V^{\text{МП}}_{i\,m} = 10^{-9}\cdot S^{\text{л}}_{i\,m}\cdot h^{\text{л}}_{i\,m}$, $u\left(V^{\text{МП}}_{i\,m}\right)_{s} = \frac{u\left(S^{\text{л}}_{i\,m}\right)\cdot V^{\text{МП}}_{i\,m}}{S^{\text{л}}_{i\,m}}$; $u\left(V^{\text{МП}}_{i\,m}\right)_{h} = \frac{u\left(h^{\text{л}}_{i\,m}\right)\cdot V^{\text{МП}}_{i\,m}}{h^{\text{л}}_{i\,m}}$; $u\left(V^{\text{МП}}_{i\,m}\right) = \sqrt{\left[u\left(V^{\text{МП}}_{i\,m}\right)_{s}\right]^2 + \left[u\left(V^{\text{МП}}_{i\,m}\right)_{h}\right]^2}$	(И.52)
Объем «мертвой» полости, м^3	$V_{\text{МП}} - \sum_{i=0}^{7}\sum_{m=0}^{N} V_{i\,m} - \Delta V_{\text{ВД}}$	(И.53)
Стандартная неопределенность объема «мертвой» полости, м^3	$u\left(V_{\text{МП}}\right) = \frac{1}{8N}\sqrt{\left\{\sum_{i=0}^{7}\sum_{m=0}^{N}\left[u\left(V_{i\,m}\right)\right]\right\}^2 + 64N^2\cdot\left[u\left(V_{\text{ВД}}\right)\right]^2}$	(И.54)
Вместимость 1-го пояса, м^3	$V'_{\text{ц1}} = V_{\text{МП}} + V'_1 - \Delta V_{\text{ВД}}$	(И.55)
Стандартная неопределенность вместимости 1-го пояса, м^3	$u\left(V'_{\text{ц1}}\right) = \sqrt{\left[u\left(V_{\text{МП}}\right)\right]^2 + \left[u\left(V'_1\right)\right]^2 + \left[u\left(V_{\text{ВД}}\right)\right]^2}$	(И.56)
Объем от высоты уровня $h_{\text{МП}}$ до высоты уровня $H_{\text{всп}}$, соответствующего всплытию плавающего покрытия, м^3	$V_{\text{всп}} = \frac{\pi D_1^2}{4\cdot 10^9}\left(H_{\text{всп}} - h_{\text{МП}}\right) - \left(V_{\text{п}} - V_{\text{опор}}\right)$	(И.57)

Продолжение таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета	
Стандартная неопределенность объема от высоты уровня $h_{МП}$ до высоты уровня $H_{всп}$, соответствующего всплытию плавающего покрытия, м^3	$u(V_{всп}) = \frac{2 \cdot u(D_1) V_{всп}}{D_1}$	(И.58)
Вместимость 1-го пояса с плавающим покрытием	$V''_{ц1} = V_{МП} + V_{всп} + V''_1 - \Delta V_{ВД}$	(И.59)
Стандартная неопределенность вместимости 1-го пояса с плавающим покрытием, м^3	$u(V''_{ц1}) = \sqrt{\left[u(V_{МП})\right]^2 + \left[u(V_{всп})\right]^2 + \left[u\left(V''_1\right)\right]^2 + \left[u(V_{ВД})\right]^2}$	(И.60)
	$V_{цk} = \frac{\pi D_k^2 \cdot H_k}{4 \cdot 10^9} \cdot \sqrt{1+\eta^2}$	(И.61)
Стандартная неопределенность вместимости $V_{цk}$, м^3, недеформированного k-го пояса	$u(V_{цk})_D = 1{,}57 \cdot 10^{-9} \cdot u(D_k) \cdot D_k \cdot H_k \sqrt{\eta^2+1};$ $u(V_{цk})_H = 7{,}85 \cdot 10^{-10} \cdot (D_k)^2 \cdot u(H_k) \cdot \sqrt{\eta^2+1};$ $u(V_{цk})_\eta = \frac{7{,}85 \cdot 10^{-10} \cdot (D_k)^2 \cdot H_k \cdot \eta \cdot u(\eta)}{\sqrt{\eta^2+1}};$ $u(V_{цk}) = \sqrt{\left[u(V_{цk})_D \cdot D_k\right]^2 + \left[u(V_{цk})_H \cdot H_k\right]^2 + \left[u(V_{цk})_\eta \cdot \eta\right]^2}$	(И.62)
Стандартная неопределенность температуры стенки резервуара при калибровке	$u(t_{ст}) = \frac{e(t_{ст})}{2\sqrt{3}}$	(И.63)
Стандартная неопределенность плотности	$u(\rho) = \frac{U(\rho)}{k}$	(И.64)
Стандартная неопределенность плотности модуля Юнга	$u(E) = \frac{e(E)}{2\sqrt{3}}$	(И.65)
Поправка к вместимости под действием гидростатического давления столба налитой жидкости	$A_2 = \frac{\rho_{ж\,х} \cdot g \cdot \pi D_1^2 \cdot \sqrt{1+\eta^2}}{4 \cdot 10^{12} \cdot E}$	(И.66)

Продолжение таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета
Стандартная неопределенность поправки к вместимости под действием гидростатического давления столба налитой жидкости	$u(A)_\rho = \frac{u(\rho)\cdot g\cdot\pi\cdot D_k^2\sqrt{1+\eta^2}}{4\cdot10^9\cdot E}$; $u(A)_D = \frac{u(D_k)\cdot\rho_{ж\,x}\cdot g\cdot\pi\cdot 2D_k\sqrt{1+\eta^2}}{4\cdot10^9\cdot E}$; $u(A)_\eta = \frac{u(\eta)\cdot\rho_{ж\,x}\cdot g\cdot\pi\cdot 2D_k^2\cdot\eta}{4\cdot10^9\cdot E\cdot\sqrt{1+\eta^2}}$; $u(A)_E = -\frac{u(E)\cdot\rho_{ж\,x}\cdot g\cdot\pi\cdot 2D_k^2\cdot\sqrt{1+\eta^2}}{4\cdot10^9\cdot E^2}$; $u(A_2) = \sqrt{\left[u(A)_\rho\cdot\rho_{ж\,x}\right]^2 + \left[u(A)_D\cdot D_k\right]^2 + \left[u(A)_\eta\cdot\eta\right]^2 + \left[u(A)_E\cdot E\right]^2}$ (И.67)
Дополнительный объем за счет деформации стенок под воздействием гидростатического давления столба жидкости	$\Delta V_{rk} = A_2\cdot\left\{\frac{0{,}8h_1}{\delta_1}\left(\sum_{j=1}^{k}h_j - \frac{h_1}{2}\right) + \sum_{n=2}^{k-1}\left[\frac{h_n}{\delta_n}\left(\sum_{j=1}^{k-1}h_j - \frac{h_n}{2}\right)\right]\right\}$ (И.68)
Стандартная неопределенность дополнительного объема за счет деформации стенок под воздействием гидростатического давления столба жидкости	$u(V_{rk}) = A_2\cdot u(A_2)\cdot\left\{\frac{0{,}8h_1}{\delta_1}\left(\sum_{j=1}^{k}h_j - \frac{h_1}{2}\right) + \sum_{n=2}^{k-1}\left[\frac{h_n}{\delta_n}\left(\sum_{j=1}^{k-1}h_j - \frac{h_n}{2}\right)\right]\right\}$ (И.69)
Вместимости резервуара при температуре калибровки	$V_t = V_1 + \sum_{i=2}^{n} V_{цk} + \Delta V_{rk} + V_{ВД}$ (И.70)
Стандартная неопределенность вместимости резервуара при температуре калибровки	$u(V_t) = \sqrt{\left[u(V_1)\right]^2 + \sum_{k=2}^{n}\left[u(V_{цk})\right]^2 + \left[u(V_{rk})\right]^2 + \left[u(V_{ВД})\right]^2}$ (И.71)
Вместимость резервуара при стандартной температуре 15 °С или 20 °С	$V(H)' = V_t[1 + 2\alpha_{ст}(t_{ст} - 15)]^{-1}$; $V(H)^* = V_t[1 + 2\alpha_{ст}(t_{ст} - 20)]^{-1}$. (И.72)

Окончание таблицы И.2

Наименование показателя	Формулы расчета
Стандартная неопределенность вместимости резервуара при стандартной температуре 15 °С или 20 °С	$uV(H)'_V = u(V_t)\,[1 + 2\alpha_{ст}(t_{ст} - 15)]^{-1}$; $uV(H)''_V = u(V_t)\,[1 + 2\alpha_{ст}(t_{ст} - 20)]^{-1}$ (И.73)
	$uV(H)'_\alpha = \dfrac{2u(\alpha_{ст})\cdot V_t\,(t_{ст} - 15)}{\left[1 + 2\alpha_{ст}\,(t_{ст} - 15)\right]^2}$; (И.74)
	$uV(H)''_\alpha = \dfrac{2u(\alpha_{ст})\cdot V_t\,(t_{ст} - 20)}{\left[1 + 2\alpha_{ст}\,(t_{ст} - 20)\right]^2}$
	$uV(H)'_t = \dfrac{2u(\alpha_t)\cdot V_t\cdot\alpha_{ст}}{\left[1 + 2\alpha_{ст}\,(t_{ст} - 15)\right]^2}$; (И.75)
	$uV(H)''_t = \dfrac{2u(\alpha_t)\cdot V_t\cdot\alpha_{ст}}{\left[1 + 2\alpha_{ст}\,(t_{ст} - 20)\right]^2}$
	$uV(H) = \sqrt{\left[(uV(H)_V)\right]^2 + \left[(uV(H)_\alpha)\right]^2 + \left[(uV(H)_t)\right]^2}$ (И.76)

Таблица И.3 — Поправка к длине окружности за счет расположения рулетки к стенке резервуара

В миллиметрах

Длина окружности пояса	Значение поправки e_1
До 25 000	2
От 25 000 до 50 000	3
От 50 000 до 100 000	5
От 100 000 до 200 000	6
Св. 200 000	8

Приложение К
(обязательное)

Обработка результатов измерений при применении сканера и оценка неопределенности вместимости резервуара

К.1 Вычисление вместимости резервуара

Вместимость резервуара при температуре калибровки V_t, м^3, соответствующую уровню налитой жидкости H, вычисляют по формуле (Д.60).

При определении вместимости k-го пояса проводят вычисления:

а) вместимости $V_{ц1}$ недеформированного 1-го пояса от гидростатического давления налитой жидкости с учетом объема неровностей днища и объемов внутренних деталей;

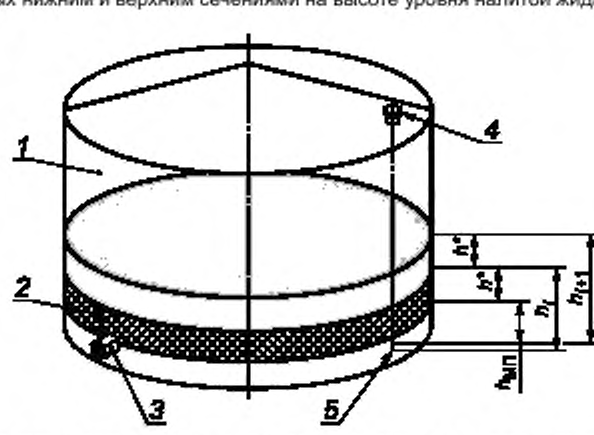
б) вместимости $V_{цk}$ недеформированного вышестоящего k-го пояса от гидростатического давления налитой жидкости с объемов внутренних деталей;

в) поправки к вместимости резервуара за счет гидростатического давления жидкости $V_{гk}$ при наполнении;

г) приведение вместимости поясов к стандартной температуре 15 °С или 20 °С.

К.1.1 Вычисление вместимости 1-го пояса $V_{ц1}$ и вышестоящего k-го пояса $V_{цk}$ проводят в следующей последовательности.

К.1.1.1 Вместимости 1-го пояса $V_{ц1}$ и вышестоящего k-го пояса $V_{цk}$ определяют по результатам вычисления объемов V_j, ограниченных нижним и верхним сечениями на высоте уровня налитой жидкости h_j (рисунок К.1).



1 — внутренняя полость резервуара; *2* — *j*-й объем V_j на высоте h_j; *3* — приемо-раздаточный патрубок; *4* — измерительный люк (точка измерений базовой высоты); *5* — точка касания днища грузом рулетки (начало отсчета); $h_{МП}$ — высота «мертвой» полости; h^* — высота *j*-го объема

Рисунок К.1 — Схема измерений *j*-го объема

К.1.1.2 Площадь сечения S_j *j*-го объема (рисунок К.2) вычисляют по формуле

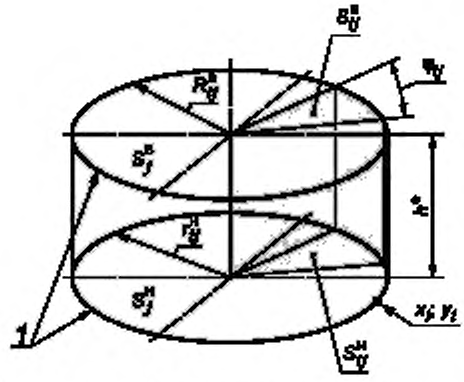
$$S_{jl} = \iint_D r dr d\varphi = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{2\pi} r dr, \qquad (К.1)$$

где r — радиус-вектор сектора;

φ — угол сектора;

dr, $d\varphi$ — приращения соответствующих величин.

К.1.1.3 Поверхность *j*-го сечения резервуара формирует сплайн-кривая, проходящая через узловые точки (рисунок К.2), представляющие собой координаты точек поверхности стенки (x_{ij}; y_{ij}) на заданной высоте (z_j). Значения координат точек поверхности стенки резервуара (x_{ij}; y_{ij}; z_{ij}) в виде трехмерного массива данных представлены в файле объединенного («сшитого») облака точек. Который, в свою очередь, является исходными данными для построения 3D-модели резервуара.



1 — сплайн-кривая; S^{H}_{ij}, S^{B}_{ij} — площадь *i*-го сектора в верхнем/нижнем сечении *j*-го элементарного объема.
h^* — высота *j*-го объема (10 мм); R^{H}_{ij}, R^{B}_{ij} — радиус-векторы *i*-го сектора в верхнем/нижнем сечении *j*-го объема

Рисунок К.2 — Схема параметров *j*-го объема

К.1.1.4 Вместимость объема V_j высотой (толщиной) h^*, равной 10 мм, определяют по результатам вычисления площадей нижнего и верхнего сечений *j*-го объема, расположенного на высоте h_j.

Площади сечений 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 К.3) и вносит вклад в неопределенность (метода) построения сечения.

К.1.1.5 На высоте h_j *j*-го объема V_j на координате z_i формируют систему координат с началом в точке $0(x_i^0, y_i^0)$, вычисляемой по формулам:

$$x_i^0 = \frac{x_i^{max} - x_i^{min}}{2};\ y_i^0 = \frac{y_i^{max} - y_i^{min}}{2}, \qquad (К.2)$$

где x_i^{max}, x_i^{min}, y_i^{max}, y_i^{min} — максимальные и минимальные значения по осям *X* и *Y* соответственно, на координате Z_i, мм.

К.1.1.6 Вычисляют координаты радиусов по оси *X*, число которых, в зависимости от номинальной вместимости резервуара, приведены в таблице К.1.

Таблица К.1

Наименование показателя	Значение показателя для вместимости резервуара, м^3						
	от 100 до 3000 включ.	св. 3000 до 10 000 включ.	св. 10 000 до 20 000 включ.	св. 20 000 до 30 000 включ.	св. 30 000 до 50 000 включ.	св. 50 000 до 100 000 включ.	св. 100 000
Число секторов *s* (радиусов)	10	12	16	20	24	30	36
угол φ	36°	30°	22°30'	18°	15°	12°	10°

Координаты x_i; y_i по осям *X* и *Y* *i*-го радиуса r_i вычисляют в следующей последовательности (рисунок К.3).

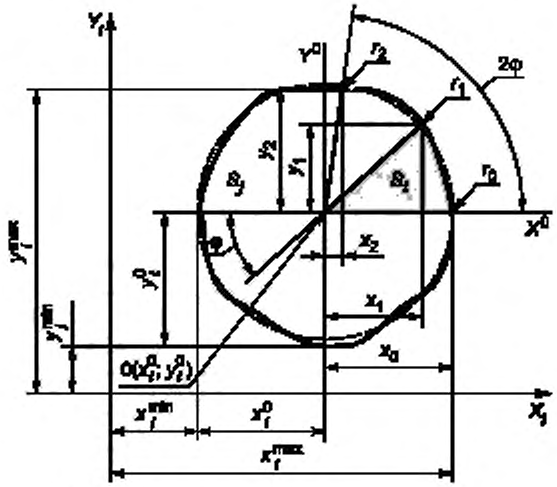


Рисунок К.3 — Схема параметров *i*-го сечения

К.1.1.7 Координату 0-го радиуса r_0 по оси X вычисляют по формуле

$$r_0 = x_0 = x_{max} - x^0, \tag{К.3}$$

где x_{max} — максимальное значение по оси *X*, на координате Z_j, мм;

x^0 — координата начала системы координат по оси *X*, вычисляемая по формуле (К.2), мм.

Примечание — Индекс «*i*» опущен.

К.1.1.8 Координату x_1 по оси *X* (далее — координата) 1-го радиуса r_1 вычисляют по формуле

$$x_1 = r_0 \cdot \cos\varphi, \tag{К.4}$$

где r_0 — координата по оси *X* 0-го радиуса r_0, мм;

φ — угол, значение которого принимают по таблице К.1, град.

К.1.1.9 Координату 2-го радиуса r_2 вычисляют по формуле

$$x_2 = r_0 \cdot \cos 2\varphi. \tag{К.5}$$

К.1.1.10 Координату *i*-го радиуса r_i вычисляют по формуле

$$x_i = r_0 \cdot \cos(i\varphi), \tag{К.6}$$

где *i* — номер радиуса, выбирают из ряда: 0, 1, 2,..., *s*.

К.1.1.11 В массиве данных файла объединенного «сшитого» облака точек по полученным значениям координат радиусов (r_0, r_1,..., r_s) на оси *X* (x_0, x_1,..., x_s) выбирают значения координат по оси *Y* (y_0', y_1',..., y_s').

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

$$y_i = y_i' - y^0, \tag{К.7}$$

где y^0 — значение координаты начала системы координат $0(x_j^0; y_j^0)$ на оси *Y*, вычисляемое по формуле (К.2), мм, соответственно.

К.1.1.12 Значение длины *i*-го радиуса r_i, мм, в сечении вычисляют по формуле

$$r_i = \sqrt{(x_i)^2 + (y_i)^2}. \tag{К.8}$$

К.1.1.13 Площади в нижнем сечении $S_j^н$ и верхнем сечении $S_j^в$ *j*-го объема (рисунок К.2) вычисляют по формулам, м^2:

$$S_j^н = 10^{-6} \cdot \sum_{i=0}^{s} \left[\frac{\pi \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi_i)}{4 \cdot 360} \left(r_{i+1} + r_i \right)^2 \right]; \tag{К.9}$$

$$S_j^в = 10^{-6} \cdot \sum_{i=0}^{s} \left[\frac{\pi \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi_i)}{4 \cdot 360} \left(R_{i+1} + R_i \right)^2 \right], \tag{К.10}$$

где r_i, r_{i+1} — длины радиусов i-го сектора нижнего сечения j-го объема, вычисляемые по формуле (К.8), мм;

R_i, R_{i+1} — длины радиусов i-го сектора верхнего сечения j-го объема, вычисляемые по формуле (К.8) с использованием значение координат x_j, y_j в верхнем сечении, мм;

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

s — число радиусов, принимаемое по таблице К.1.

Значение угла φ_i вычисляют по формуле

$$\varphi_i = \text{arctg}\frac{y_i}{x_i}. \quad (К.11)$$

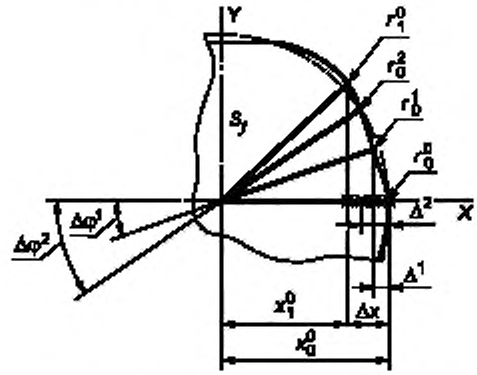
К.1.1.14 Следующий этап заключается в вычислении площадей верхнего и нижнего сечения j-го объема со смещением координаты 0-го радиуса.

Операции выполняют в следующей последовательности.

К.1.1.15 Вычисляют величину первого смещения координаты 0-го радиуса Δ^1, мм, по формуле

$$\Delta^1 = \frac{\Delta x}{3}, \quad (К.12)$$

где Δx — разность значений координат по оси X 0-го r_0^0 и 1-го r_1^0 радиусов при нулевом смещении, мм, (рисунок К.4), равная $\Delta x = x_0^0 - x_1^0$ [см. формулы (К.3); (К.4)].



r_0^0, r_0^1, r_0^2 — координаты 0-го радиуса при нулевом, первом, втором смещениях, соответственно,

Δ^1; Δ^2 — значение первого и второго смещения координат 0-го радиуса соответственно

Рисунок К.4 — Схема смещений координат радиусов

К.1.1.16 Координату 0-го радиуса при первом смещении r_0^1 на оси X вычисляют по формуле

$$x_0^1 = x_0^0 - \Delta^1, \quad (К.13)$$

где x_0^0 — значение координаты 0-го радиуса по оси X при нулевом смещении, вычисляемое по формуле (К.3), мм;

Δ^1 — величина смещения координаты 0-го радиуса при первом смещении, вычисляемая по формуле (К.12), мм.

Значения координаты y_0^1 на оси Y, приведенные к началу системы координат, вычисляют по формуле

$$y_0^1 = (y_0^1)' - y^0, \quad (К.14)$$

где $(y_0^1)'$ — значение координаты, соответствующее x_0^1, мм;

y^0 — значение координаты начала системы координат $0(x_i^0; y_i^0)$ на оси Y, вычисляемое по формуле (К.2), мм.

Угол $\Delta\varphi^1$ между осью X и 0-м радиусом при первом смещении r_0^1 (рисунок К.4) вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi^1 = \text{arctg}\frac{y_0^1}{x_0^1}. \quad (К.15)$$

К.1.1.17 Координату по оси X 1-го радиуса r_1^1 при первом смещении вычисляют по формуле

$$x_1^1 = r_0^1 \cdot \cos(\Delta\varphi^1 + \varphi), \quad (К.16)$$

где r_0^1 — длина 0-го радиуса, вычисляемая по формуле (К.8), подставляя значения x_0^1, y_0^1, мм;

φ — угол, значение которого принимают по таблице К.1, град.

К.1.1.18 Координату i-го радиуса r_i^1 при первом смещении вычисляют по формуле

$$x_i^1 = r_0^1 \cdot \cos(\Delta\varphi^1 + i \cdot \varphi), \quad (К.17)$$

где i — номер радиуса, выбирают из ряда: 0, 1, 2,..., s.

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

$$y_i^1 = (y_i^1)' - y^0. \quad (К.18)$$

К.1.1.19 Значения второго смещения координаты 0-го радиуса Δ^2, мм, вычисляют по формуле

$$\Delta^2 = \frac{2}{3}\Delta x, \quad (К.19)$$

где Δx — разность значений координат по оси X 0-го r_0^0 и 1-го r_1^0 радиусов при 0-м смещении (рисунок К.4), равная $\Delta x = x_0^0 - x_1^0$, мм [см. формулы (К.3), (К.4)].

К.1.1.20 Проводят аналогичные операции по К.1.1.16—К.1.1.18, заменяя в формулах (К.13)—(К.18) величины в верхним индексом «1» на величины с верхним индексом «2», указывающий на номер смещения координаты 0-го радиуса.

К.1.1.21 Площади в нижнем сечении $S_j^н$ и верхнем сечении $S_j^в$ j-го объема, м^2, вычисляют по формулам:

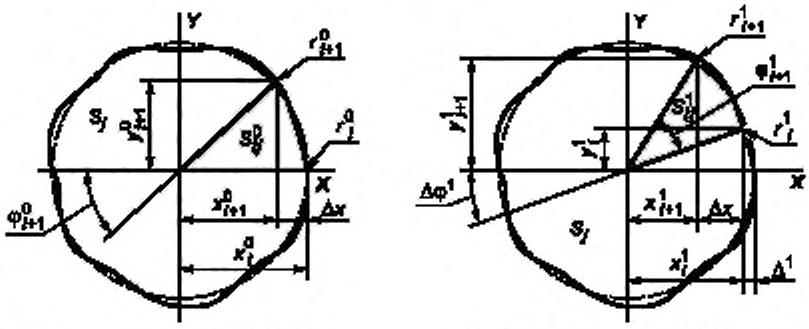
$$S_j^н = 10^{-6} \sum_{m=0}^{2} \sum_{i=0}^{s} \left[\frac{\pi \cdot \left(\varphi_{i+1,j}^m - \varphi_{i,j}^m\right)}{4 \cdot 360} \left(r_{i+1,j}^m + r_{i,j}^m\right)^2 \right], \quad (К.20)$$

$$S_j^в = 10^{-6} \sum_{m=0}^{2} \sum_{i=0}^{s} \left[\frac{\pi \cdot \left(\varphi_{i+1,j}^m - \varphi_{i,j}^m\right)}{4 \cdot 360} \left(R_{i+1,j}^m + R_{i,j}^m\right)^2 \right], \quad (К.21)$$

где m — число смещений координат отсчета, выбирают из ряда: 0, 1, 2 (рисунок К.5);

s — число секторов;

$\varphi^m_{i,j}$, ($\varphi^m_{i,j+1}$) — угол между i-м (i + 1) радиусом и осью X при m-м смещении [перечисление а) рисунка К.2 — при нулевом смещении, перечисление б) — при первом смещении (m = 1)].



а) Схема параметров i-го сектора при нулевом смещении

б) Схема параметров i-го сектора при первом смещении

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 измерения; 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 смещениях начала отсчета

Рисунок К.5 — Схема параметров в j-м сечении

К.1.1.22 Значение j-го объема V_j, м^3, ограниченного нижним и верхним сечениями, вычисляют по формуле

$$V_j = 10^{-3} \cdot \frac{1}{2}\left(S_j^н + S_j^в\right) \cdot h_j \ , \quad (К.22)$$

где $S_j^н$, $S_j^в$ — площади нижнего и верхнего сечений, вычисляемые по формулам (К.20), (К.21) соответственно, м^2;

h_j — высота j-го объема, принимаемая равной 10 мм.

К.1.1.23 Вместимость $V_{ц1}$ недеформированного 1-го пояса от гидростатического давления налитой жидкости с учетом объема неровностей днища и объемов внутренних деталей вычисляют по формуле

$$V_{ц1} = \left(\sum_{j=0}^{h_1} V_j\right) - \left(\sum_{j=0}^{h_{нд}} V_{нд\,j}\right) - \left(\sum_{j=0}^{h_{вд}} V_{вд\,j}\right), \quad (К.23)$$

где V_j — значение j-го объема в пределах высоты от 0 до высоты 1-го пояса h_1, м^3;

$V_{нд\,j}$ — объем неровностей днища j-го объема в пределах от 0 до высоты неровностей днища $h_{нд}$, м^3;

$V_{вд\,j}$ — объем внутренних деталей днища j-го объема в пределах от 0 до высоты неровностей днища $h_{вд}$ [с учетом примечания в экспликации к формуле (Д.43)], м^3.

Объемы неровностей днища $V_{нд\,j}$ и внутренних деталей $V_{вд\,j}$ на соответствующих высотах h_j определяют построением 3D-модели соответствующих j-х объемов триангуляционным методом Делоне.

К.1.1.24 Вместимость $V_{цk}$ недеформированного вышестоящего k-го пояса от гидростатического давления налитой жидкости с объемов внутренних деталей вычисляют по формуле

$$V_{цk} = \left(\sum_{j=h_{k-1}}^{h_k} V_j\right) - \left(\sum_{j=h_{k-1}}^{h_{вд}} V_{вд\,j}\right), \quad (К.24)$$

где V_j — значение j-го объема в пределах от h_{k-1} высоты нижележащего пояса до высоты k-го пояса h_k, м^3;

$V_{вд\,j}$ — объем внутренних деталей днища j-го объема в пределах от h_{k-1} высоты нижележащего пояса до высоты k-го пояса h_k, м^3.

К.1.1.25 Поправку к вместимости резервуара за счет гидростатического давления жидкости $\Delta V_{гk}$ при наполнении вычисляют по Д.9;

К.1.1.26 Вместимость резервуара $V(H)$, м^3, приведенную к стандартной температуре 15 °С или 20 °С, вычисляют по формулам (Д.61) и (Д.62), соответственно.

К.2 Оценка неопределенности вместимости резервуара

К.2.1 Неопределенность вместимости резервуара вычисляют по результатам оценки неопределенностей посантиметровых вместимостей объемов V_j, ограниченных нижним и верхним сечениями на высоте уровня налитой жидкости h_j (рисунок К.1).

К.2.2 Стандартные неопределенности $u(S_j^н)_м$, $u(S_j^в)_м$ площадей нижнего и верхнего сечений j-го объема, обусловленные методом построения сечения, вычисляют по формулам:

$$u\left(S_j^н\right)_м = \sqrt{\frac{\sum_{m=0}^{2}\left(S_{m.j}^н - \overline{S}_j^н\right)^2}{6}}; \quad (К.25)$$

$$u\left(S_j^в\right)_м = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{2}\left(S_{m.j}^в - \overline{S}_j^в\right)^2}{6}}, \quad (К.26)$$

где $\overline{S}_j^н$, $\overline{S}_j^в$ — среднее арифметическое значение в нижнем/верхнем сечении j-го объема, мм^6;

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

$S_{m.j}^н$, $S_{m.j}^в$ — площади в нижнем/верхнем сечении при 0-м, 1-м, 2-м смещениях координаты i-го сектора, мм^6, вычисляемые по формулам (К.20), (К.21), соответственно.

К.2.3 Координаты i-го радиуса-вектора r в j-м сечении вычисляют по формуле

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (К.27)$$

где x, y — координаты по осям X и Y на j-й высоте на координате z, принимаемые из файла объединенного («сшитого») облака точек, соответственно, мм.

Координаты x, y вычисляют по формулам:

$$x = r \cdot \cos\varphi;$$

$$y = r \cdot \sin\varphi, \quad (К.28)$$

где $\varphi = \operatorname{arctg}\dfrac{y}{x}$. (К.29)

Неопределенность координаты i-го радиуса j-го объема $r_{i,j}$ вычисляют по формулам:

$$u\left(x_r\right) = \frac{u(l)\cdot x}{r}; \quad u\left(x_\varphi\right) = u(\varphi)\cdot r\cdot(-\sin\varphi); \quad (К.30)$$

$$u(x) = \sqrt{\left[u\left(x_r\right)\right]^2 + \left[u\left(x_\varphi\right)\right]^2}; \quad (К.31)$$

$$u(y_r)=\frac{u(l)\cdot y}{r};\qquad u(y_\varphi)=\frac{u(r)\cdot y}{\mathrm{tg}\varphi};\tag{К.32}$$

$$u(y)=\sqrt{\left[u(y_r)\right]^2+\left[u(y_\varphi)\right]^2},\tag{К.33}$$

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

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

r — значение радиус-вектора, вычисляемое по формуле (К.27), мм;

φ — значение угла от оси X, вычисляемое по формуле (К.29), град.

К.2.4 Неопределенность i-го радиуса j-го объема вычисляют по формулам:

$$u(r_x)=\frac{x\cdot u(x)}{\sqrt{x^2+y^2}};\ u(r_y)=\frac{y\cdot u(y)}{\sqrt{x^2+y^2}};\tag{К.34}$$

$$u(r)=\sqrt{\left[u(r_x)\right]^2+\left[u(r_y)\right]^2}.\tag{К.35}$$

К.2.5 Стандартную неопределенность $uV_j(H)$, %, j-го объема, расположенного на высоте уровня налитой жидкости H, вычисляют по формулам:

$$u\left(S_j^{\text{н}}\right)_\varphi=\frac{1}{3}\sum_{m=0}^{2}\frac{u(\varphi)\cdot\left(S_j^{\text{н}}\right)_m}{\left(\varphi_{i+1,j}^m-\varphi_{i,j}^m\right)};\ u\left(S_j^{\text{н}}\right)_r=\frac{1}{3}\sum_{m=0}^{2}2\frac{u(l)\cdot\left(S_j^{\text{н}}\right)_m}{\left(r_{j+1\ j}^m+r_{i,j}^m\right)};\tag{К.36}$$

$$u\left(S_j^{\text{н}}\right)=\sqrt{\left[u\left(S_j^{\text{н}}\right)_\varphi\right]^2+\left[u\left(S_j^{\text{н}}\right)_r\right]^2};\tag{К.37}$$

$$u\left(S_j^{\text{в}}\right)_\varphi=\frac{1}{3}\sum_{m=0}^{2}\frac{u(\varphi)\cdot\left(S_j^{\text{в}}\right)_m}{\left(\varphi_{i+1,j}^m-\varphi_{i,j}^m\right)};\ u\left(S_j^{\text{в}}\right)_r=\frac{1}{3}\sum_{m=0}^{2}2\frac{u(l)\cdot\left(S_j^{\text{в}}\right)_m}{\left(R_{j+1,j}^m+R_{i,j}^m\right)};\tag{К.38}$$

$$u\left(S_j^{\text{в}}\right)=\sqrt{\left[u\left(S_j^{\text{в}}\right)_\varphi\right]^2+\left[u\left(S_j^{\text{в}}\right)_r\right]^2}.\tag{К.39}$$

$$u\left(S_j\right)_R=\sqrt{\left[u\left(S_j^{\text{н}}\right)\right]^2+\left[u\left(S_j^{\text{в}}\right)\right]^2}.\tag{К.40}$$

$$uV_j(H)=\frac{u\left(S_j\right)_R+u\left(S_j\right)_M+S_j}{S_i}\cdot 100.\tag{К.41}$$

Приложение Л
(справочное)

Форма журнала обработки результатов измерений

ЖУРНАЛ
обработки результатов измерений

Л.1 Вычисление внутренних диаметров и высот поясов

Таблица Л.1 — Вычисление внутренних диаметров и длин поясов

В миллиметрах

№ пояса	Координата отсчета	Диаметры поясов		Внутренний диаметр пояса D_j	Высота пояса H_j	Толщина пояса δ_j
		внутренние D^k_i	наружные $(D^k_i)_н$			
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
...						
k						

Примечания

1 Графу 2 заполняют при применении сканера.

2 Графу 4 заполняют при применении метода наружных измерений.

Л.2 Вычисление параметров резервуара

Таблица Л.2 — Вычисление параметров резервуара

Наименование параметра	Вычисление (значение) параметра	№ формулы
Степень наклона η		
Вычисление угла направления наклона резервуара φ, град		
Базовая высота $H_Б$, мм		
Высота исходного уровня $H_и$, мм		
Объем неровностей днища $\Delta V_{НД}$, м^3		
Высота «мертвой» полости $H_{МП}$, мм		
Вместимость «мертвой» полости $V_{МП}$, м^3		

Окончание таблицы Л.2

Наименование параметра	Вычисление (значение) параметра	№ формулы
Объем жидкости от исходного уровня, соответствующего всплытию плавающего покрытия $V_{всп}$, м^3		
Уровень жидкости, соответствующий расстоянию от днища резервуара до нижней части плавающего покрытия $H_п$, мм		

Вычисление провел

_____ _____ _____

должность личная подпись инициалы, фамилия

«___» _____ 20__ г.

Библиография

[1] Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29—2013 — Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения

[2] Постановление Правительства РФ от 2 апреля 2015 г. № 311 «Об утверждении Положения о признании результатов калибровки при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»

[3] Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.3532-18 — Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 13.02.2018 № 25

[4] Международный стандарт ISO 7507-3:2006 — Нефть и нефтепродукты. Калибровка вертикальных цилиндрических резервуаров. Часть 3. Метод оптической триангуляции (Petroleum and liquid petroleum products — Calibration of vertical cylindrical tanks — Part 3: Optical triangulation method)

УДК 53.089.6:621.642.3:006.354 ОКС 17.020

Ключевые слова: вместимость, резервуар, неопределенность, уровень, градуировка, калибровка, температура, плотность, тахеометр, сканер

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 16.11.2020. Подписано в печать 14.01.2021. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 10,70. Уч.-изд. л. 9,68.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru