ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 8.994— 2020

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕЗЕРВУАРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

Методика калибровки электронно-оптическим методом

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

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. № 1080-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, 2020

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 Метод калибровки ... 4
5 Технические требования ... 4
5.1 Требования к погрешности измерений параметров резервуаров ... 4
5.2 Требования по применению рабочих эталонов и вспомогательных средств ... 4
5.3 Требования к условиям калибровки ... 5
6 Требования к организации проведения калибровки ... 6
7 Требования к квалификации специалистов, проводящих калибровку и требования безопасности ... 6
8 Подготовка к проведению калибровки ... 6
9 Операции калибровки ... 7
9.1 Метод внутренних измерений ... 7
9.2 Метод наружных измерений ... 7
10 Проведение калибровки резервуара методом внутренних измерений с применением тахеометра ... 8
10.1 Внешний осмотр ... 8
10.2 Измерение базовой высоты ... 8
10.3 Определение внутренних диаметров поясов резервуара ... 9
10.4 Измерение длин поясов резервуара ... 10
10.5 Определение параметров «мертвой» полости резервуара ... 10
10.6 Определение параметров днищ ... 11
10.7 Определение объемов внутренних деталей ... 11
11 Проведение калибровки методом внутренних измерений с применением сканера ... 11
11.1 Внешний осмотр ... 11
11.2 Измерение базовой высоты резервуара ... 11
11.3 Сканирование внутренней полости резервуара ... 11
12 Проведение калибровки методом наружных измерений с применением тахеометра ... 12
12.1 Внешний осмотр ... 12
12.2 Измерение базовой высоты резервуара ... 12
12.3 Определение диаметров поясов ... 12
12.4 Измерения длин поясов ... 12
12.5 Определение степени наклона и непрямолинейности оси резервуара ... 14
12.6 Определение параметров днищ ... 14
12.7 Измерения параметров «мертвой» полости ... 14
12.8 Измерение координаты точки измерения базовой высоты ... 16
12.9 Определение объемов внутренних деталей ... 16
13 Проведение калибровки методом наружных измерений с применением сканера ... 17
13.1 Внешний осмотр ... 17
13.2 Измерение базовой высоты резервуара ... 17
13.3 Сканирование наружной поверхности резервуара ... 17
13.4 Измерения толщины поясов и днищ ... 17
14 Обработка результатов измерений и составление градуировочной таблицы ... 17
14.1 Обработка результатов измерений ... 17
14.2 Составление градуировочной таблицы резервуара ... 18
15 Оформление результатов калибровки ... 18
Приложение А (справочное) Схемы измерений и параметров измерений ... 19
Приложение Б (обязательное) Форма протокола измерений параметров резервуара с применением тахеометра ... 31
Приложение В (рекомендуемое) Форма акта измерений базовой высоты резервуара ... 36
Приложение Г (обязательное) Форма титульного листа градуировочной таблицы и форма градуировочной таблицы ... 37
Приложение Д (обязательное) Обработка результатов измерений при применении тахеометра ... 39

Приложение Е (обязательное) Алгоритм обработки результатов измерений при применении сканера и функциональные требования к программному обеспечению 55
Приложение Ж (обязательное) Вычисление неопределенности измерений вместимости резервуара при применении тахеометра 59
Приложение И (обязательное) Оценка неопределенности вместимости резервуара при обработке результатов измерений программным обеспечением построения трехмерной модели (применение сканера) 62
Приложение К (справочное) Форма журнала обработки результатов измерений 68
Библиография 69

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕЗЕРВУАРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

Методика калибровки электронно-оптическим методом

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

Дата введения — 2021—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на стальные горизонтальные цилиндрические резервуары наземного и подземного расположения, в том числе теплоизолированные, номинальной вместимостью от 25 до 1000 м^3, используемые в качестве мер вместимости для нефти и нефтепродуктов, продуктов нефтехимии, подтоварной воды, химических продуктов, сжиженных природных газов, сжиженных газов, являющихся продуктами нефтепереработки, ловушечных продуктов (далее — продукт) и устанавливает методику их калибровки.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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 7502 Рулетки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 13837 Динамометры общего назначения. Технические условия

ГОСТ 28243 Пирометры. Общие технические условия

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 «Национальные стандарты», который 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

Издание официальное

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;** БВ: Расстояние по вертикали от плоскости, принятой за начало отсчета, до верхнего края горловины резервуара, измерительной трубы или фланца установки уровнемера.

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

3.3 **высота «мертвой» полости:** Расстояние по вертикали от плоскости начала отсчета до нижнего среза приемо-раздаточного патрубка, приемо-раздаточного устройства, клапана или иного устройства.

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

3.5 **горизонтальное положение:** Проекция измеренного наклонного расстояния на горизонтальную плоскость.

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

3.7 **градуировочная таблица:** Зависимость вместимости от 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, которому соответствуют данные в градуировочной таблице, указано на титульном листе.

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

3.9 **жидкость:** Продукт, для хранения которого предназначен резервуар.

3.10 **исходный уровень:** Уровень жидкости в резервуаре, соответствующий:

а) высоте «мертвой» полости (при отсутствии наклона резервуара);

б) высоте, при которой покрывается нижняя образующая резервуара жидкостью (при наличии наклона резервуара).

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

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

3.13 **максимальный уровень:** Максимально допустимый уровень наполнения резервуара жидкостью при его эксплуатации, установленный технической документацией на резервуар.

3.14 **«мертвая» полость резервуара;** МП: Нижняя часть резервуара, из которой невозможно осуществить отпуск (прием) жидкости, используя стационарные приемо-раздаточные патрубки, клапаны или иные устройства.

3.15 **«мертвый» остаток;** МО: Объем жидкости в резервуаре, находящийся ниже плоскости, принятой за начало отсчета уровня жидкости в резервуаре.

3.16

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

3.17

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

3.18 **номинальная вместимость резервуара:** Вместимость резервуара, соответствующая предельному уровню его наполнения, установленная нормативным документом для конкретного типа резервуара.

3.19 **нормаль:** Прямая, ортогональная (перпендикулярная) касательной плоскости к поверхности (цилиндрическая стенка, днище резервуара).

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

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

3.22 **плоскость начала отсчета:** Горизонтальная плоскость, проходящая через точку на образующей цилиндрической стенки резервуара, которой касается груз измерительной рулетки (метроштока) при измерении базовой высоты, или точку вертикальной проекции оси уровнемера.

Примечание — Метрошток применяют при наличии измерительной трубы (позиция *7*, рисунок А.1).

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

3.24

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

3.25 **предельный уровень:** Предельный уровень определения посантиметровой вместимости, соответствующий расстоянию по вертикали между плоскостью, принятой за начало отсчета при его калибровке, и нижним краем горловины резервуара.

Примечание — См. рисунок А.1.

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

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

3.28 **стальной горизонтальный цилиндрический резервуар:** Металлический сосуд в форме цилиндра, горизонтально установленного, со сферическими, плоскими, коническими, усеченно-коническими или торосферическими днищами, применяемый для хранения и измерения объема жидкости.

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

3.30 **степень наклона резервуара:** Величина η, выражаемая через тангенс угла наклона продольной оси резервуара в вертикальной плоскости к горизонту, вычисляемая по формуле

$$\eta = \operatorname{tg}\varphi, \qquad (1)$$

где φ — угол наклона продольной оси резервуара в вертикальной плоскости (далее — угол наклона резервуара) к горизонту, град.

3.31

тахеометр: Геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин линий и превышений.
[ГОСТ 21830—76, статья 34]

Примечание — См. рисунок А.2.

3.32

тригонометрическое нивелирование: Нивелирование при помощи геодезического прибора с наклонной визирной осью.
[ГОСТ 22268—76, статья 97]

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

3.34 **эталонная точка резервуара:** Верхняя плоскость фланца измерительного люка резервуара (риски в планке измерительного люка) или измерительной трубы или фланца уровнемера.

3.35 **эталонная точка уровнемера:** Верхняя плоскость фланца горловины резервуара, на котором смонтирован уровнемер.

3.36 **эталонная высота уровнемера $H_{э.ур}$:** Расстояние по вертикали от верхней плоскости фланца установки уровнемера до плоскости начала отсчета.

3.37 **3D-моделирование:** Построение трехмерной модели объекта, по объединенному («сшитому») облаку точек специализированным программным комплексом.

4 Метод калибровки

4.1 Калибровку резервуара проводят по результатам наружных или внутренних измерений геометрических параметров с применением тахеометра электронного (далее — тахеометр) или лазерно-сканирующего устройства (далее — сканер).

4.1.1 При калибровке резервуара:

а) с применением тахеометра:

1) при внутренних измерениях — вместимость резервуара определяют по результатам измерений внутренних диаметров, длин поясов, высот днищ резервуара;

2) при наружных измерениях — вместимость резервуара определяют по результатам измерений наружных диаметров (или длин окружностей), длин и толщин стенок поясов резервуара и высот (выпуклостей) и толщин стенок днищ резервуара.

б) с применением сканера:

1) вместимость резервуара определяют на основании вычисленного объема 3D-модели резервуара, построенной с помощью специализированного программного обеспечения (ПО) по результатам измерений пространственных координат точек, лежащих на внутренней/внешней поверхности резервуара.

4.2 При проведении:

а) первичной калибровки применяют метод внутренних и наружных (кроме теплоизолированных резервуаров и подземного расположения) измерений;

б) периодической калибровки резервуаров без теплоизолированного покрытия (далее — теплоизоляция) наземного расположения может быть применен метод наружных измерений.

Примечание — Для теплоизолированных резервуаров применяют только метод внутренних измерений.

4.3 Данные калибровки, выполненные по настоящему стандарту, 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].

5 Технические требования

5.1 Требования к погрешности измерений параметров резервуаров

5.1.1 Погрешности измерений параметров резервуаров не должны превышать значений, указанных в таблице 1.

Таблица 1 — Погрешность измерений параметров резервуаров

Измеряемый параметр	Пределы допускаемой погрешности измерений параметров резервуаров вместимостью, $м^3$	
	От 25 до 75	От 100 и более
Внутренний диаметр пояса (при внутренних измерениях), %	± 0,13	± 0,11
Длина пояса, %	± 0,15	± 0,13
Внутренний диаметр пояса (при наружном измерении), %	± 0,15	± 0,13
Координата точки измерения базовой высоты, мм	± 5	± 5
Выпуклость днища (высота конуса), мм	± 1	± 1
Объем внутренних деталей, $м^3$	± 0,01	± 0,005

5.1.2 Неопределенность определения вместимости резервуара, при соблюдении требований таблицы 1, должна находиться в пределах 0,1 % — 0,50 %.

5.1.3 Точное значение неопределенности определения вместимости (неопределенности) резервуара приведено в градуировочной таблице.

5.2 Требования по применению рабочих эталонов и вспомогательных средств

При калибровке резервуара применяют следующие рабочие эталоны и вспомогательные средства.

5.2.1 Установки поверочные типа 1, в состав которых входят:

- рулетки измерительные 2-го класса точности с верхними пределами измерений 10, 20, 30 и 50 м по ГОСТ 7502;
- рулетки измерительные с грузом 2-го класса точности с верхними пределами измерений 10, 20 и 30 м по ГОСТ 7502;
- тахеометр электронный с допускаемой средней квадратической погрешностью измерения углов не более 5" и допускаемой средней квадратической погрешностью измерения расстояний не более 4 мм и ПО.

5.2.2 Установки поверочные, в состав которых входят:

- рулетки измерительные с грузом 2-го класса точности с верхними пределами измерений 10, 20 и 30 м по ГОСТ 7502;
- лазерная координатно-сканирующая система (далее — сканер) с погрешностью измерения расстояний не более 4 мм и ПО.

5.2.3 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.

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

5.2.5 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.

5.2.6 Вспомогательные средства:

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

5.2.7 Рабочие эталоны должны быть аттестованы в установленном порядке.

5.3 Требования к условиям калибровки

5.3.1 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.

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

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

5.3.4 Резервуар при калибровке методом внутренних измерений должен быть порожним.

5.3.5 При периодической и внеочередной калибровках методом наружных измерений в резервуаре может находиться жидкость до произвольного уровня.

5.3.6 Загазованность в воздухе вблизи или внутри резервуара не более ПДК вредных веществ, установленных по ГОСТ 12.1.005 и соответствующей [3].

5.3.7 При калибровке резервуара измеряют его линейные физические величины (далее — величина или параметр). Число измерений каждой величины — не менее двух. Среднее арифметическое значение результатов двух измерений принимают за действительное значение линейной величины.

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

[2)] При проведении наружных измерений.

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

[4)] При проведении внутренних измерений.

[5)] В зависимости от применяемого метода измерений.

6 Требования к организации проведения калибровки

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

6.2 Организация, аккредитованная в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации, 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].

6.3 Проводят следующие калибровки:

- 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 10.2.8, при внесении в резервуар конструктивных изменений, влияющих на его вместимость, и после очередного полного технического диагностирования.

7 Требования к квалификации специалистов, проводящих калибровку и требования безопасности

7.1 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).

7.2 К проведению работ допускают лиц, изучивших настоящий стандарт, техническую документацию на резервуар и его конструкцию, средства измерений и прошедших инструктаж по безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004.

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

7.4 Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных паров и газов в воздухе, измеренная газоанализатором вблизи или внутри резервуара на высоте 2000 мм, не должна превышать ПДК, определенной по ГОСТ 12.1.005 и соответствующей [3].

7.5 Проведение измерений во время грозы категорически запрещены.

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

7.7 Перед началом работ проверяют исправность:

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

7.8 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.

7.9 При наружных измерениях, на резервуарах, не имеющих ограждений, работы проводят с предохранительным поясом, прикрепленным к надежно установленным элементам металлических конструкций резервуара.

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

8 Подготовка к проведению калибровки

8.1 При подготовке к калибровке проводят следующие работы.

8.1.1 Изучают техническую документацию на резервуар.

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

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

8.1.4 Начинают заполнять протокол измерений, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.1).

8.1.5 Измеряют параметры окружающего воздуха метеометром (см. 5.2.5).

8.1.6 Проводят измерение температуры стенки резервуара с применением пирометра (см. 5.2.3). Измерение температуры стенки резервуара проводят на четырех равноудаленных образующих стенки резервуара в первом, среднем, последнем поясах.

Значение температуры стенки принимают как среднее арифметическое значение измеренных значений.

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

8.2 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 нормам ГОСТ 12.1.005;
- наряд-допуск на проведение работ с повышенной опасностью.

9 Операции калибровки

9.1 Метод внутренних измерений

При выполнении измерений геометрических параметров внутренней полости резервуара выполняют следующие операции с применением тахеометра (см. таблицу 2), сканера (см. таблицу 3).

Таблица 2

Наименование операции	Номер подраздела
Внешний осмотр	10.1
Измерение базовой высоты	10.2
Определение внутренних диаметров поясов резервуара	10.3
Измерения длин поясов резервуара	10.4
Определение параметров «мертвой» полости резервуара	10.5
Определение параметров днищ	10.6
Определение объемов внутренних деталей	10.7

Таблица 3

Наименование операции	Номер подраздела
Внешний осмотр	11.1
Измерение базовой высоты резервуара	11.2
Сканирование внутренней полости резервуара	11.3

9.2 Метод наружных измерений

При выполнении измерений геометрических параметров наружной поверхности резервуара выполняют следующие операции с применением тахеометра (см. таблицу 4), сканера (см. таблицу 5).

Таблица 4

Наименование операции	Номер подраздела
Внешний осмотр	12.1
Измерение базовой высоты	12.2

Окончание таблицы 4

Наименование операции	Номер подраздела
Определение диаметров поясов	12.3
Измерение длин поясов	12.4
Определение степени наклона и непрямолинейности оси резервуара	12.5
Определение параметров днищ	12.6
Измерения вместимости «мертвой» полости	12.7
Измерение координаты точки измерения базовой высоты	12.8
Определение объемов внутренних деталей	12.9

Таблица 5

Наименование операции	Номер подраздела
Внешний осмотр	13.1
Измерение базовой высоты резервуара	13.2
Сканирование наружной поверхности резервуара	13.3
Измерения толщины поясов и днищ	13.4

10 Проведение калибровки резервуара методом внутренних измерений с применением тахеометра

10.1 Внешний осмотр

10.1.1 При внешнем осмотре резервуара проверяют:

- соответствие конструкции и внутренних деталей резервуара 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.

10.1.2 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.

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

10.2 Измерение базовой высоты

10.2.1 Базовую высоту резервуара H_5 измеряют с применением рулетки с грузом, как расстояние по вертикали от плоскости, принятой за начало отсчета, до верхнего края горловины резервуара или риски в измерительном люке (рисунок А.3).

10.2.2 Для резервуаров, оборудованных измерительным люком, базовую высоту резервуара H_6 измеряют как расстояние по вертикали от плоскости, принятой за начало отсчета, до верхнего края измерительного люка или риски в измерительном люке (край измерительной трубы).

10.2.3 Для резервуаров, не оборудованных измерительным люком (трубой), горловиной, базовую высоту измеряют как эталонную высоту уровнемера (см. 3.36) с применением рулетки с грузом (рисунок А.3).

10.2.4 Измерения проводят не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно превышать 2 мм.

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

10.2.6 Базовую высоту измеряют ежегодно. Ежегодные измерения базовой высоты резервуара проводит комиссия, назначенная приказом руководителя предприятия — владельца резервуара, в состав которой должен быть включен специалист, прошедший курсы повышения квалификации по поверке и калибровке резервуаров.

10.2.7 Допускается измерение базовой высоты резервуара при наличии жидкости в нем до произвольного 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 резервуар освобождают от жидкости и проводят повторное измерение базовой высоты резервуара.

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

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

10.3 Определение внутренних диаметров поясов резервуара

При выполнении измерений внутренних диаметров поясов резервуара выполняют следующие операции.

10.3.1 Проводят разметку нижней образующей резервуара в следующей последовательности.

10.3.1.1 Штатив тахеометра приводят в рабочее положение, устанавливают на него тахеометр, проводят необходимые операции по подготовке к работе в соответствии с руководством по эксплуатации. Для удобства выполнения измерений рекомендуемая высота установки 1650—1750 мм от точки стояния до визирной линии тахеометра.

10.3.1.2 Устанавливают тахеометр на расстоянии *l*, равным 800—1000 мм, от днища резервуара (рисунок А.4). Выбирают режим отображения измерений: горизонтального угла H_z, вертикального угла V_z и горизонтального проложения *HD*, H_z, V_z, *HD* (рисунок А.2).

10.3.1.3 Наводят сетку нитей визира тахеометра по нормали[1)] (как минимальное расстояние до касательной плоскости) к цилиндрической стенке резервуара и измеряют расстояние *HD** и вертикальный угол α° (рисунок А.4).

10.3.1.4 Поворачивают алидаду горизонтального круга тахеометра на угол 180° и измеряют расстояние *HD*** (рисунок А.4).

10.3.1.5 Отмечают мелом точку стояния тахеометра, используя центрир прибора (лазерный, оптический).

10.3.1.6 Вычисляют разность показаний *HD** и *HD***.

10.3.1.7 Откладывают по нормали к цилиндрической стенке резервуара с применением линейки по 5.2.1.3 половину значения разности показаний *HD** и *HD*** в направлении стенки с бóльшим значением *HD** или *HD*** и фиксируют мелом точку разметки.

10.3.1.8 Переносят тахеометр на противоположную сторону резервуара.

10.3.1.9 Проводят аналогичные операции по 10.3.1.2—10.3.1.7.

10.3.1.10 Укладывают ленту рулетки по точкам разметки и мелом размечают нижнюю образующую резервуара.

10.3.2 Проводят измерения внутренних диаметров поясов.

10.3.2.1 Внутренний диаметр пояса измеряют в трех его сечениях: среднем, находящемся в середине пояса, правом и левом, расположенных на расстоянии от 200 до 300 мм от сварочных швов (рисунок А.5).

10.3.2.2 Устанавливают тахеометр в области нижней образующей по 10.3.1.10 в левом сечении пояса. Измеряют высоту установки тахеометра $H_{инст}$, мм, с применением измерительной рулетки с грузом с точностью 1 мм и вносят в память процессора прибора как высоту установки инструмента (рисунок А.6). Устанавливают режим измерений: горизонтального угла H_z, вертикального угла V_z и наклонного расстояния *SD* (рисунок А.2).

Примечание — Ввиду того, что радиус пояса вычисляют методом наименьших квадратов, точное позиционирование тахеометра на нижней образующей не требуется.

[1)] Определение термина приведено в 3.19.

10.3.2.3 Наводят сетку нитей визира тахеометра по нормали к стенке резервуара, в горизонтальной плоскости, как минимальное расстояние от тахеометра до точки измерений на образующей резервуара (рисунок А.7). Вводят значение горизонтального угла H_z = 0°00′0″ в память процессора тахеометра.

10.3.2.4 Проводят измерения величины $SD_{л1}$, мм, как наклонное расстояние, и вертикального угла $\alpha_{1л}$.

10.3.2.5 Поворачивают алидаду тахеометра в горизонтальной плоскости по часовой стрелке на угол H_z, равный 180°00′0″ (правый круг), при этом контроль поворота осуществляют горизонтальным наводящим винтом.

10.3.2.6 Проводят измерения величины $SD_{л1}^{пр}$, мм, как наклонное расстояние (рисунок А.6).

10.3.2.7 Поворачивают алидаду тахеометра в горизонтальной плоскости против часовой стрелке на угол H_z, равный 180°00′0″ (левый круг) и измеряют расстояние $HD_{л1}^{лев}$, как горизонтальное проложение.

Примечание — Измерения проводят при фиксированном вертикальном угле $\alpha_{1л}$.

10.3.2.8 Поворачивают алидаду тахеометра в вертикальной плоскости на 270°.

10.3.2.9 Проводят операции аналогично по 10.3.2.5—10.3.2.7, при другом значении $\alpha_{2л}$, $\alpha_{2л}$ измеряют значения

10.3.2.10 Устанавливают тахеометр на среднее, правое сечение пояса резервуара и проводят аналогичные процедуры по 10.3.2.2—10.3.2.7.

10.3.2.11 Последовательно переустанавливают тахеометр на следующие пояса резервуара и измеряют параметры $SD_{л.с.в}$, $SD_{л.с.в}^{пр}$, $SD_{л.с.в}^{лев}$, $\alpha_{iл.с.в}$. Результаты измерений вносят в протокол калибровки, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.4).

10.4 Измерение длин поясов резервуара

Измерение длин поясов резервуара проводят с применением тахеометра и рейки с призменным отражателем на нижней образующей резервуара, определенной по 10.3.1, в следующей последовательности (рисунок А.8).

10.4.1 Тахеометр устанавливают на нижнюю образующую и устанавливают режим измерений *HD*, *h*.

10.4.2 Веху с призменным отражателем устанавливают на середину сварного шва в месте примыкания переднего днища и 1-го пояса.

10.4.3 Измеряют расстояние HL_1, мм, как горизонтальное проложение и расстояние $th_{лев}$, мм, как высоту превышения.

10.4.4 Переустанавливают веху на середину сварного шва примыкания 1-го и 2-го поясов и измеряют расстояние HL_2, мм.

10.4.5 Последовательно устанавливают веху на следующих поясах, проводя аналогичные операции по 10.4.1—10.4.4 измеряют расстояние HL_i, мм.

10.4.6 При измерении расстояний HL_{i-1}, HL_i проводят измерение величин $th_{ср}$, $th_{пр}$ соответственно.

10.4.7 Результаты измерений значений HL_i вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.5, графа 2).

10.4.8 Результаты измерений значений $th_{лев}$, $th_{ср}$, $th_{пр}$ вносят протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.12).

Примечание — Значения величин $th_{лев}$, $th_{ср}$, $th_{пр}$, используют для определения степени наклона и непрямолинейности оси резервуара.

10.5 Определение параметров «мертвой» полости резервуара

10.5.1 Параметры «мертвой» полости резервуара определяют по результатам измерений (рисунок А.9):

а) высот превышения в точке касания грузом рулетки образующей резервуара $th_{БВ}$ и в точке на верхней образующей приемо-раздаточного патрубка $th_{МП}$;

б) линейных расстояний от тахеометра до точек измерений, как горизонтальных проложений HL_0 и $HL_{МП}$;

в) наружного диаметра приемо-раздаточного патрубка $D_{нар}$;

г) толщины стенок приемо-раздаточного патрубка $\delta_{ПРП}$.

10.5.1.1 Измерения высот превышения и горизонтальных проложений проводят с применением тахеометра, установленным на нижней образующей резервуара и вехи с призменным отражателем, установленной в точках измерений.

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

10.5.1.2 Наружный диаметр приемо-раздаточного патрубка измеряют измерительной рулеткой, как длину наружной окружности. Измерения проводят не менее двух раз, считывают показания с ленты рулетки с точностью 1 мм.

10.5.1.3 Толщину стенки приемо-раздаточного патрубка измеряют с применением толщиномера по 5.2.1.7. Измерения проводят не менее двух раз, фиксируют показания с точностью до 0,1 мм.

10.5.2 Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.6).

10.6 Определение параметров днищ

10.6.1 При определении параметров днища проводят измерения:

а) высоты днища;

б) координат опорных точек днища.

10.6.2 Измерения проводят с применением тахеометра, установленным на нижней образующей резервуара и вехи с призменным отражателем.

10.6.2.1 Схема измерения высоты днища приведена на рисунке А.10.

10.6.2.2 Схема измерений параметров днища приведена на рисунке А.11.

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

10.7 Определение объемов внутренних деталей

Объемы внутренних деталей, влияющих на вместимость (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, линейного расстояния от точки начала отсчета.

При измерении геометрических параметров внутренних деталей используют следующие рабочие эталоны: измерительная рулетка, измерительная линейка и штангенциркуль.

Результаты измерений величин вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.8 и таблица Б.9).

11 Проведение калибровки методом внутренних измерений с применением сканера

11.1 Внешний осмотр

11.1.1 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 лестницы;
- чистоту внутренней поверхности резервуара.

11.1.2 Определяют перечень внутренних деталей, оборудования, влияющих на вместимость резервуара, например незаполненные продуктом трубопроводы, система подогрева и т. д. и фиксируют их в копии технического проекта для дальнейшего исключения их из расчета.

11.1.3 Отмечают мелом точку касания днища грузом рулетки и устанавливают в ней сферическую марку (рисунок А.12).

11.2 Измерение базовой высоты резервуара

11.2.1 Базовую высоту резервуара $H_б$ измеряют с применением рулетки с грузом (метроштока), как расстояние по вертикали от плоскости, принятой за начало отсчета, до верхнего края горловины резервуара (измерительной трубы) (рисунок А.3), проводя аналогичные операции по 10.2.

11.2.2 Результаты измерений базовой высоты $H_б$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б.

11.3 Сканирование внутренней полости резервуара

При проведении сканирования внутренней полости резервуара проводят следующие операции.

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

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

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

Число станций должно быть не менее двух.

11.3.3 Сканирование проводят последовательно с каждой станции (рисунок А.13) в режиме кругового обзора (360°). Дискретность сканирования устанавливают в пределах от 3 до 5 мм.

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

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

12 Проведение калибровки методом наружных измерений с применением тахеометра

12.1 Внешний осмотр

12.1.1 При внешнем осмотре резервуара проверяют:

- соответствие конструкции, соответствие технической документации на него (паспорт, технологическая карта на резервуар);
- наличие необходимой арматуры и оборудования;
- исправность лестниц и перил;
- состояние днища резервуара (отсутствие бугров, ям);
- чистоту наружной поверхности резервуара;
- отсутствие деформации стенок резервуара, препятствующих проведению измерений параметров резервуара.

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

12.2 Измерение базовой высоты резервуара

12.2.1 Базовую высоту резервуара $H_б$ измеряют с применением рулетки с грузом (метроштока) как расстояние по вертикали от плоскости, принятой за начало отсчета, до верхнего края горловины резервуара (измерительной трубы) (рисунок А.3), проводят аналогичные операции по 10.2.

12.2.2 Результаты измерений базовой высоты $H_б$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б.

12.3 Определение диаметров поясов

Диаметры поясов определяют по результатам измерений:

а) длин наружных окружностей поясов;

б) толщин поясов и слоя краски.

12.3.1 Длину наружной окружности пояса P измеряют в каждом сечении пояса (рисунок А.5) измерительной рулеткой не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно быть более 3 мм.

12.3.2 Толщины стенки поясов резервуара $\delta_р$ и слоя краски $\delta_{с.к}$ измеряют ультразвуковым толщиномером с погрешностью в пределах ±0,1 мм или принимают по рабочим чертежам.

Примечание — При невозможности измерения слоя краски толщиномером, значение $\delta_{с.к}$ принимают равным 0,3 мм.

12.3.3 Результаты измерений длин окружностей P, толщин стенок и слоя краски вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблицы Б.10, Б.5 соответственно).

12.4 Измерение длин поясов

Цилиндрическая часть резервуара состоит из основных поясов и двух поясков, образованных за счет наличия глубины заложения переднего $l_{п1}$ и заднего $l_{п2}$ днищ (рисунок А.23).

Длину i-го пояса резервуара L_i определяют с наземной станции с применением тахеометра (рисунок А.14) или со станции, установленной на вертикальной образующей резервуара с применением тахеометра и вехи с призменным отражателем (рисунок А.16).

12.4.1 Измерение длин поясов с наземной станции съемки (твердой поверхности) проводят с применением тахеометра в следующей последовательности.

12.4.1.1 Устанавливают тахеометр на твердой поверхности на расстоянии одной-двух длин резервуара в районе середины резервуара (рисунок А.14).

12.4.1.2 Ориентируют алидаду тахеометра в горизонтальной плоскости по нормали, как наименьшее расстояние, к цилиндрической стенке резервуара.

Вводят значение горизонтального угла H_z = 0°00′0″ в память процессора прибора.

12.4.1.3 Устанавливают на тахеометре режим отображения горизонтального проложения *HD* и горизонтального угла H_z.

Направляя сетку нитей визира прибора на середину сварных швов поясов последовательно измеряют величины горизонтальных проложений наклонных расстояний HD_0,...,HD_i, мм, и горизонтальных углов φ_0,..., φ_i, град.

12.4.1.4 Результат измерений величин вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.11).

12.4.2 При невозможности проведения измерений по 12.4.1 (групповое расположение резервуаров, ограниченность пространства) определение параметров поясов проводят с применением тахеометра и вехи с призменным отражателем в следующей последовательности.

12.4.2.1 Устанавливают тахеометр на верху резервуара, в подходящем месте (крышка люка, площадка обслуживания). В режиме отображения горизонтальных проложений *HD*, высот превышения *h* и ориентируют его вдоль продольной оси резервуара (рисунок А.15) для чего:

- устанавливают веху с призменным отражателем на сварном шве 2-го пояса;
- последовательно перемещая веху по сварному шву определяют точку с минимальным расстоянием L_{min};
- вводят значение горизонтального угла H_z = 0°00′0″ в память процессора тахеометра.

12.4.2.2 Веху с призменным отражателем устанавливают на середину сварного шва примыкания днища резервуара к цилиндрической стенке резервуара 1-го пояса (рисунок А.16).

12.4.2.3 Направляют сетку нитей визира на центр призменного отражателя и проводят измерения горизонтального проложения HL_0, мм, и высоты превышения $th_{лев}$, мм.

12.4.2.4 Устанавливают веху на следующий сварной шов — примыкания 1-го и 2-го поясов и, проводя аналогичные операции, измеряют величины $HL_{1...k}$, где *k* — номер пояса в секторе обзора тахеометра.

12.4.2.5 Поворачивают алидаду тахеометра в горизонтальной плоскости на угол H_z = 180°00′0″ и, проводя аналогичные операции по 12.4.2—12.4.4, измеряют величины $HL_{k+1...i}$.

При измерении величин HL_k, HL_i дополнительно измеряют величины th_k, $th_{пр}$ соответственно (рисунок А.16).

12.4.2.6 Измеренные значения величин HL_i вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.5).

12.4.2.7 Измеренные значения величин $th_{лев}$, th_k, $th_{пр}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.5).

Примечание — Результаты измерений по данному пункту используют для определения степени наклона и непрямолинейности оси резервуара.

12.4.3 Глубину заложения днища l_n измеряют изнутри резервуара штангенциркулем или металлической линейкой не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно быть более 1 мм.

Примечание — При невозможности измерений глубины заложения днища и отсутствии данных по исполнительным документам на резервуар значение глубины заложения днища принимают равным 100 мм.

Результаты измерений l_n вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.13).

12.4.4 При соединении днищ резервуара с цилиндрической частью могут образовываться:

а) выступ днища $l_в$ (рисунок А.23) — расстояние между торцом пояса и плоскостью, проходящей через основание днища;

б) углубление днища $l_у$ (рисунок А.23) — расстояние между торцом пояса и линией пересечения основания днища с поясом.

12.4.4.1 Длину выступа или углубления днища измеряют штангенциркулем или линейкой по верхней и нижней образующим. Показания штангенциркуля или линейки отсчитывают с погрешностью до 1 мм.

Расхождение между результатами двух измерений выступа или углубления днища не должно быть более 2 мм.

12.4.4.2 Результаты измерений l_x, l_y вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблицы Б.14 и Б.15).

12.4.5 Глубину заложения горловины t (рисунок А.23) измеряют штангенциркулем или линейкой от нижней кромки горловины до верхней (внутренней) образующей резервуара, проходящей через плоскость симметрии резервуара.

12.4.5.1 Расхождение между результатами двух измерений глубины заложения не должно быть более 3 мм.

12.4.5.2 Результаты измерений t вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.16).

12.5 Определение степени наклона и непрямолинейности оси резервуара[1)]

12.5.1 При измерении длин поясов резервуара по 12.4.1 определение степени наклона и непрямолинейности оси резервуара проводят с применением тахеометра и вехи с призменным отражателем в следующей последовательности.

Измерения проводят со станции съемки по 12.4.1 в режиме отображения высот h, горизонтального угла H_z и горизонтального проложения HD (рисунок А.2).

12.5.2 Веху с призменным отражателем устанавливают на середину сварного шва примыкания днища резервуара к цилиндрической стенке резервуара 1-го пояса (рисунок А.17).

12.5.3 Определяют верхнюю образующую резервуара как наивысшую точку в сечении, перемещая веху по шву, контролируя высоту по сетке нитей визира прибора.

12.5.4 Направляют сетку нитей визира на центр призменного отражателя и проводят измерения параметров: $th_{лев}$, мм, как высоту превышения; $\varphi_{лев}$, град, как горизонтальный угол; $HD_{лев}$, мм, как горизонтальное проложение.

12.5.5 Последовательно переносят веху на середину, конец последнего пояса. Проводят аналогичные операции по 12.5.3, 12.5.4 и измеряют параметры $th_{ср}$, $\varphi_{ср}$, $HD_{ср}$ и $th_{пр}$, $\varphi_{пр}$, $HD_{пр}$.

12.5.6 Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.12).

12.6 Определение параметров днищ

При определении параметров днища проводят измерения:

а) высоты днища;

б) координат опорных точек днища;

в) толщины стенки днища.

Измерения проводят с применением тахеометра и призменного отражателя.

12.6.1 Тахеометр устанавливают по нормали к днищу резервуара на расстоянии 5—10 м.

12.6.2 Определяют вертикальную плоскость измерений, проходящую через центр днища, как равноудаленную точку в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рисунок А.18).

12.6.3 Измерения параметров опорных точек днища проводят в безотражательном режиме. Схема измерений приведена на рисунке А.15.

12.6.4 Параметры опорных точек, лежащих на примыкании днища к цилиндрической стенке, измеряют в отражательном режиме (точки 1л, 1п или 2л, 2п, рисунок А.19). Призменный отражатель устанавливают на верхней и нижней образующих резервуара и проводят измерения параметров опорных точек.

12.6.5 Толщину стенок днищ $\delta_{дн}$ и слоя краски $\delta_{с.к}$ измеряют ультразвуковым толщиномером с погрешностью в пределах ±0,1 мм или принимают по рабочим чертежам.

Примечание — При невозможности измерения слоя краски толщиномером, значение $\delta_{с.к}$ принимают равным 0,3 мм.

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

12.7 Измерения параметров «мертвой» полости

12.7.1 Параметры «мертвой» полости резервуара определяют по результатам измерений (рисунок А.20):

[1)] Не проводят при измерении длин поясов на верху резервуара по 12.4.2.

а) высот превышения в точке измерения базовой высоты $tH_{БВ}$ и в точке на верхней образующей приемо-раздаточного патрубка $th_{МП}$;

б) наружного диаметра приемо-раздаточного патрубка $D_{нар}$;

в) толщины стенок приемо-раздаточного патрубка $\delta_{ПРП}$.

12.7.1.1 Измерения высот превышений проводят с применением тахеометра и вехи с призменным отражателем, с наземной станции съемки, обеспечивающей сектор обзора приемо-раздаточного патрубка и фланца патрубка измерения базовой высоты.

Веху последовательно устанавливают на фланец патрубка, используемого при измерении базовой высоты резервуара и на верхнюю образующую приемо-раздаточного патрубка.

Проводят измерение величин $th_{БВ}$, мм, и $th_{МП}$, мм. Измерения проводят не менее двух раз, фиксируют показания с точностью 1 мм.

12.7.1.2 Наружный диаметр приемо-раздаточного патрубка измеряют измерительной рулеткой, как длину наружной окружности. Измерения проводят не менее двух раз, считывают показания с ленты рулетки с точностью 1 мм.

12.7.1.3 Толщину стенки приемо-раздаточного патрубка измеряют с применением толщиномера по 5.2.1.7. Измерения проводят не менее двух раз, фиксируют показания с точностью до 0,1 мм.

12.7.1.4 Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.6).

12.7.2 При наличии расходной трубы (РТ) на резервуаре (позиция *8*, рисунок А.1) измеряют высоту «мертвой» полости резервуара $h_{МП}$ как расстояние от нижней точки приемного клапана или приемного устройства расходной трубы до нижней образующей резервуара.

12.7.2.1 Измерение высоты «мертвой» полости $h_{МП}$, мм, проводят с применением линейки или измерительной рулетки с грузом (рисунок А.24). Измерение проводят не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно быть более 2 мм. За значение принимают среднее арифметическое значение результатов двух измерений, округленное до 1 мм.

12.7.2.2 При невозможности измерения по 12.7.2 (малый диаметр резервуара, наличие внутреннего оборудования и т. п.) высоту «мертвой» полости резервуара $h_{МП}$ определяют по результатам измерений базовой высоты резервуара, расстояния $h_{РТ}$ (рисунок А.24) — от нижнего края крышки горловины до нижнего края приемного клапана или приемного устройства *6*, толщины прокладки *5* и смещения *F* — по вертикали верхнего края фланца горловины *2* и верхнего края измерительной трубы резервуара.

12.7.2.3 Расстояние $h_{РТ}$ определяют в следующей последовательности:

а) демонтируют расходную трубу с крышкой горловины;

б) на поверхности расходной трубы на расстоянии b_0, равном 500 мм, от нижнего края крышки горловины наносят чертилкой отметку *7* (рисунок А.24);

в) измеряют расстояние b_0 металлической измерительной линейкой. Отсчитывают показания линейки с точностью до 1 мм;

г) измеряют расстояние c_0 измерительной рулеткой с усилием (10 ± 1) Н по ГОСТ 7502. Отсчитывают показания рулетки с точностью до 1 мм;

д) величины b_0, c_0 по перечислениям в) и г) измеряют не менее двух раз. Расхождения между результатами двух измерений не должны быть более 2 мм. За значения величин b_0 и c_0 принимают средние арифметические значения результатов измерений, округленные до 1 мм.

Расстояние $h_{РТ}$ вычисляют по формуле

$$h_{РТ} = b_0 + c_0. \quad (2)$$

12.7.2.4 Толщину прокладки *5* (рисунок А.24) $\delta_{пр}$ измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

12.7.2.5 Смещение *F* определяют по результатам нивелировки верхнего края фланца горловины *2* и верхнего края измерительной трубы (при наличии) *1* (рисунок А.25) или верхнего края измерительного люка (при наличии) как высоту превышения с применением тахеометра и вехи с призменным отражателем.

Последовательно устанавливая рейку на верхний край измерительной трубы (верхний край измерительного люка) и верхний край фланца горловины *2*, снимают показания b_1 и b_2 соответственно. Показания в каждой точке снимают не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно быть более 2 мм. За значение b_1 или b_2 принимают среднее арифметическое значение результатов двух измерений, округленное до 1 мм.

Смещение F, мм, вычисляют по формуле

$$F = b_1 - b_2. \quad (3)$$

12.7.2.6 Высоту «мертвой» полости резервуара:

- при измерении по 12.7.2.1 $h'_{МП}$ вычисляют по формуле

$$h'_{МП} = F + h''_{МП}; \quad (4)$$

- при измерении по 12.7.2.2 и при наличии измерительной трубы $h''_{МП}$ вычисляют по формуле

$$h''_{МП} = F + H_б - h_{РТ} + \delta_п; \quad (5)$$

- при измерении по 12.7.2.2 и при наличии измерительного люка $h''_{МП}$ вычисляют по формуле

$$h''_{МП} = F + H_б \frac{1}{\sqrt{1+\eta^2}} - h_{РТ} + \delta_п, \quad (6)$$

где η — степень наклона резервуара.

12.7.2.7 Результаты вычислений $h_{МП}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.16).

12.7.2.8 Расстояние между расходной трубой и поднятым краем цилиндрической части резервуара $l_{РТ}$ (рисунок А.25) измеряют с поднятого (в результате наклона резервуара) конца резервуара измерительной линейкой или измерительной рулеткой не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно быть более 2 мм.

За значение величины $l_{РТ}$ принимают среднее арифметическое значение результатов измерений, округленное до 1 мм.

Результат измерений $l_{РТ}$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.18).

12.7.2.9 Расстояние между измерительной трубой и поднятым краем цилиндрической части резервуара l'_3 (рисунок А.25) измеряют с поднятого (в результате наклона резервуара) края резервуара измерительной рулеткой 2-го или 3-го класса точности по ГОСТ 7502 не менее двух раз.

Расхождение между результатами двух измерений должно быть не более 2 мм.

За значение величины l'_3 принимают среднее арифметическое значение результатов измерений, округленное до целого миллиметра.

Результаты измерений l'_3 вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.18).

12.8 Измерение координаты точки измерения базовой высоты

12.8.1 Расстояние между точкой измерения базовой высоты (измерительный люк/труба) и сварным швом 1-го пояса $L_{БВ}$, мм, измеряют с применением тахеометра и вехи с призменным отражателем.

12.8.2 При выполнении измерений длин поясов резервуара с наземной станции по 12.4.1, веху с призменным отражателем устанавливают в точку измерения базовой высоты (рисунок А.21) и измеряют величины $HD_{БВ}$, мм и $\varphi_{БВ}$, град.

12.8.3 При выполнении измерений длин поясов резервуара с верхней образующей по 12.4.2, веху с призменным отражателем устанавливают в точку измерения базовой высоты (рисунок А.16) и измеряют величину $HL_{БВ}$, мм.

12.8.4 Величины $HD_{БВ}$, $HL_{БВ}$ измеряют как горизонтальное проложение с точностью 1 мм, не менее двух раз.

Расхождение между результатами двух измерений должно быть не более 2 мм.

За значение величин принимают среднее арифметическое значение результатов измерений, округленное до целого миллиметра.

12.8.5 Результаты измерений вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.17).

12.9 Определение объемов внутренних деталей

Объемы внутренних деталей, влияющих на вместимость (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, линейного расстояния от точки начала отсчета.

Результаты измерений величин вносят в протокол, форма которого приведена в приложении Б (таблица Б.8 и таблица Б.9).

13 Проведение калибровки методом наружных измерений с применением сканера

13.1 Внешний осмотр

13.1.1 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.

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

13.2 Измерение базовой высоты резервуара

Базовую высоту резервуара $H_б$ измеряют с применением рулетки с грузом (метроштока) как расстояние по вертикали от плоскости, принятой за начало отсчета, до верхнего края горловины резервуара (измерительной трубы) (рисунок А.3), проводя аналогичные операции по 10.2.

13.3 Сканирование наружной поверхности резервуара

При проведении сканирования наружной поверхности резервуара проводят следующие операции.

13.3.1 Подготавливают сканер к работе в соответствии с требованиями технической документации.

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

13.3.2 Определяют необходимое число станций сканирования и место их расположения, обеспечивающих исключение областей непросканированного пространства резервуара (теней) или максимально их минимизирующих.

Число станций должно быть не менее шести.

13.3.3 В точку измерения базовой высоты (измерительный люк/труба) устанавливают сферическую марку.

13.3.4 Сканирование проводят последовательно с каждой станции. Дискретность сканирования устанавливают в пределах от 3 до 5 мм (рисунок А.22).

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

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

13.4 Измерения толщины поясов и днищ

Измерения толщины стенок поясов резервуара $\delta_р$ и слоя краски $\delta_{с.к}$ проводят по 12.3.2, стенок днищ резервуара $\delta_{дн}$ и слоя краски $\delta_{с.к}$ проводят по 12.6.5.

14 Обработка результатов измерений и составление градуировочной таблицы

14.1 Обработка результатов измерений

14.1.1 Обработку результатов измерений при калибровке с применением тахеометра проводят в соответствии с приложением Д.

14.1.2 Обработку результатов измерений при калибровке с применением сканера проводят в соответствии с приложением Е.

14.1.3 Результаты вычислений вносят в журнал обработки результатов измерений, форма которого приведена в приложении К.

14.2 Составление градуировочной таблицы резервуара

14.2.1 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.

14.2.2 Вместимость резервуара, соответствующую уровню жидкости *H*, *V*(*H*), вычисляют при приведении:

- к стандартной температуре 20 °С — по формуле (Д.115);
- к стандартной температуре 15 °С — по формуле (Д.116).

Примечания

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

2 Значение температуры указано на титульном листе градуировочной таблицы.

14.2.3 В случае калибровки резервуара, предназначенного для хранения продукта с избыточным давлением, значения посантиметровой вместимости резервуара, приведенных к стандартной температуре, равной 20 °С (15 °С), с учетом избыточного давления вычисляют по формуле (Д.117).

14.2.4 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 (Ж.14) приложения Ж;
- при обработке результатов измерений по приложению Е — по формуле (И.39) приложения И.

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

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

14.2.7 Обработку результатов измерений проводят с применением сертифицированного в установленном порядке ПО.

15 Оформление результатов калибровки

15.1 Результаты калибровки резервуара оформляют сертификатом калибровки.

15.2 К сертификату калибровки прикладывают:

а) градуировочную таблицу;

б) протокол (оригинал прикладывают к первому экземпляру градуировочной таблицы);

в) эскиз резервуара.

15.3 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.

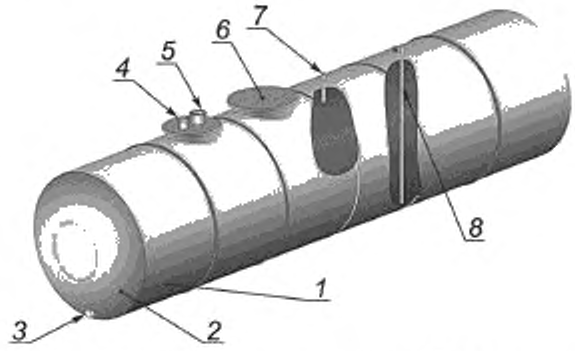
Титульный лист и последнюю страницу градуировочной таблицы подписывает специалист по калибровке, подпись заверяют оттиском клейма калибровки.

15.4 Градуировочную таблицу утверждает руководитель органа аккредитованного на право проведения калибровки.

Приложение А
(справочное)

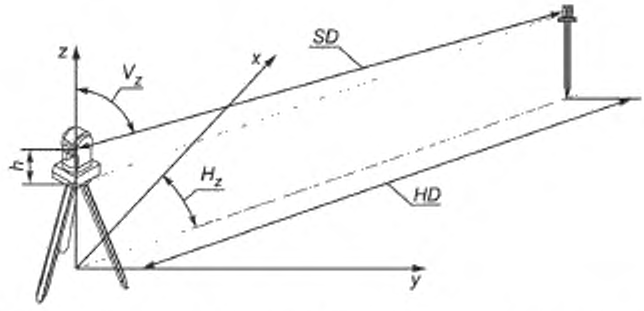
Схемы измерений и параметров измерений

А.1 Схемы измерений и параметров измерений при проведении калибровки с применением тахеометра и сканера приведены на рисунках А.1—А.25.



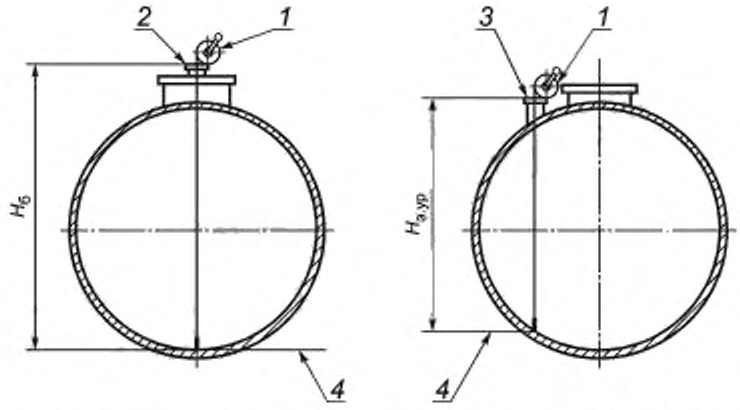
1 — пояс резервуара; *2* — днище, *3* — фланец приемо-раздаточного патрубка; *4* — фланец установки уровнемера, *5* — фланец измерительного люка; *6* — люк-лаз, *7* — измерительная труба; *8* — расходная труба

Рисунок А.1 — Элементы конструкции резервуара



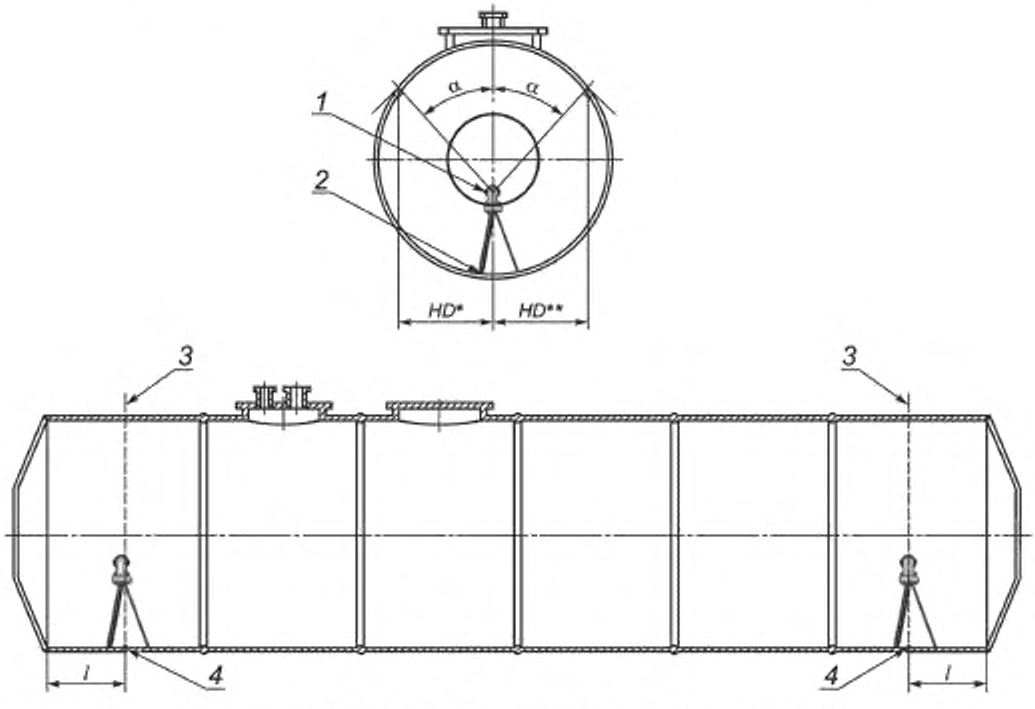
x, y, z — локальная система координат, *SD* — наклонное линейное расстояние; *HD* — горизонтальное проложение; *h* — высота превышения; H_z — горизонтальный угол, V_z — вертикальный угол

Рисунок А.2 — Схема измерения параметров тахеометром



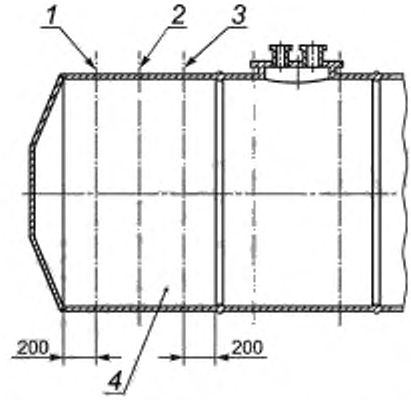
1 — измерительная рулетка с грузом; *2* — фланец измерительного люка (резервуара); *3* — фланец уровнемера; *4* — плоскость начала отсчета

Рисунок А.3 — Схема измерения базовой высоты резервуара и эталонного расстояния уровнемера



1 — тахеометр, *2* — точка стояния; *3* — плоскости измерений; *4* — точки разметки

Рисунок А.4 — Схема разметки нижней образующей резервуара



1 — левое сечение, *2* — среднее сечение; *3* — правое сечение; *4* — пояс резервуара

Рисунок А.5 — Схема сечений пояса резервуара при измерениях внутренних диаметров

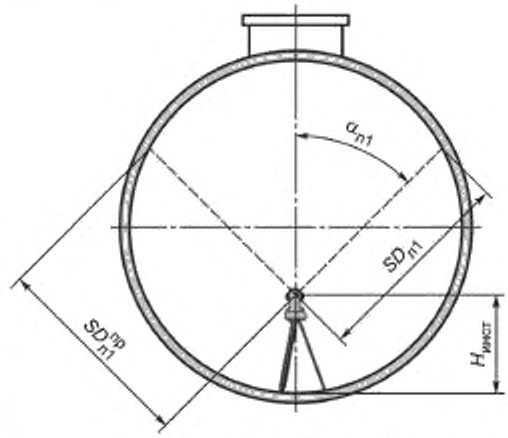
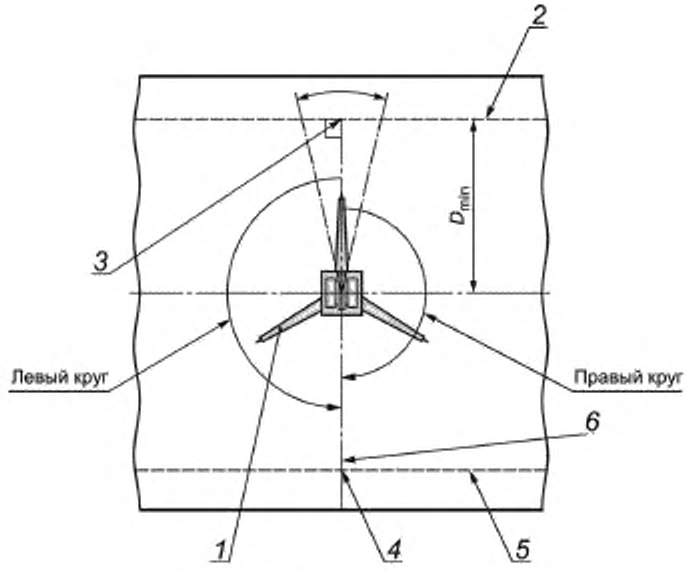
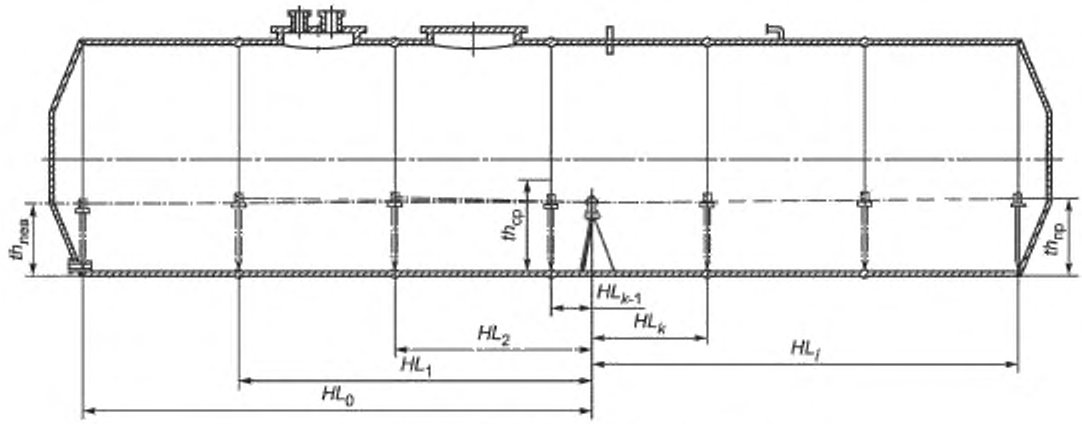


Рисунок А.6 — Схема измерений внутренних диаметров пояса



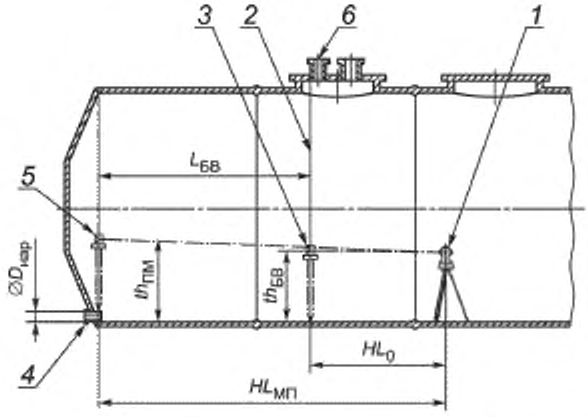
1 — тахеометр; *2*, *5* — образующие резервуара, *3*, *4* — точки измерений, *6* — сечение резервуара (левое, среднее, правое)

Рисунок А.7 — Схема определения точек измерений внутренних диаметров пояса



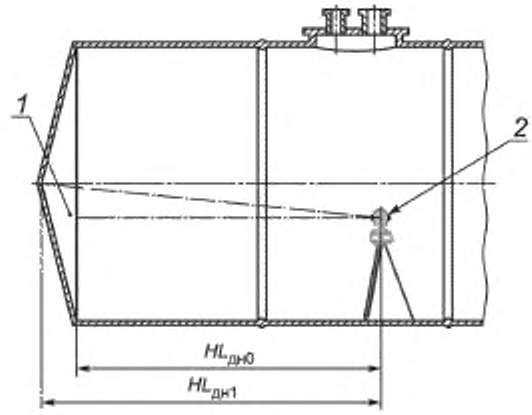
1 — тахеометр, *2* — веха с призменным отражателем

Рисунок А.8 — Схема измерений длин поясов



1 — тахеометр; *2* — измерительная рулетка с грузом. *3* — точка начала отсчета; *4* — приемо-раздаточный патрубок; *5* — веха с призменным отражателем; *6* — измерительный люк

Рисунок А.9 — Схема измерения параметров «мертвой» полости резервуара



1 — веха с отражательной призмой; *2* — тахеометр

Рисунок А.10 — Схема измерений высоты днища резервуара

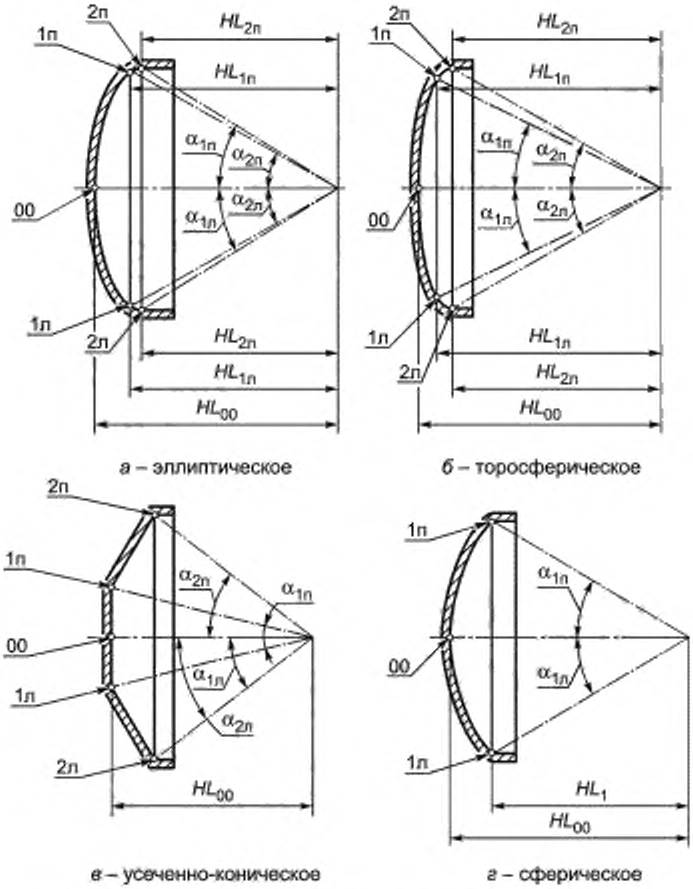
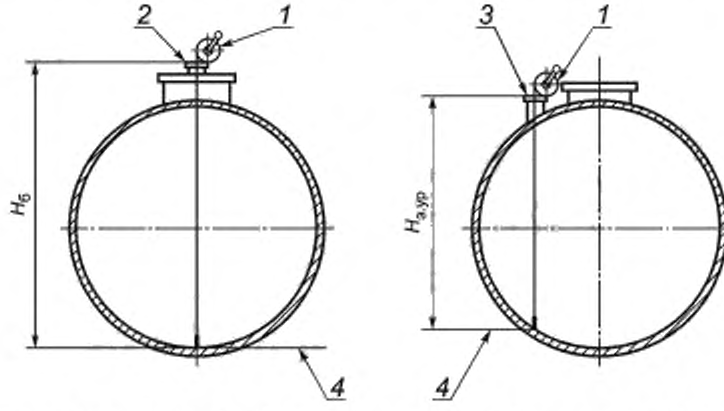
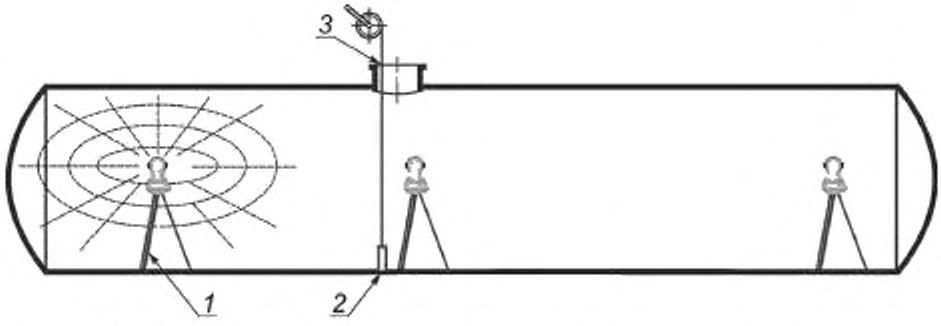


Рисунок А.11 — Схема измерений параметров днищ в горизонтальной плоскости методом внутренних измерений



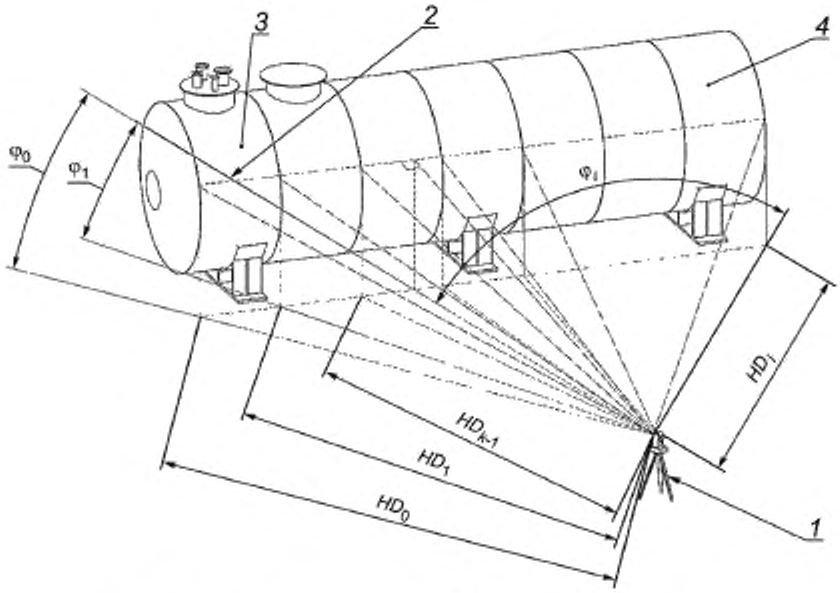
1 — измерительная рулетка с грузом, *2* — фланец измерительного люка (резервуара); *3* — фланец уровнемера, *4* — место установки сферической марки

Рисунок А.12 — Место установки сферической марки



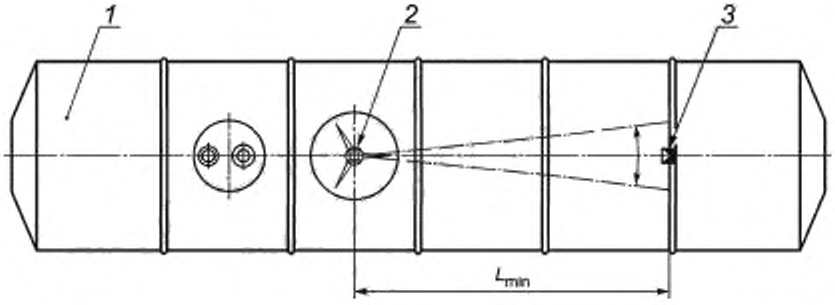
1 — станция сканирования; *2* — плоскость начала отсчета; *3* — точка измерения базовой высоты

Рисунок А.13 — Схема сканирования внутренней полости резервуара



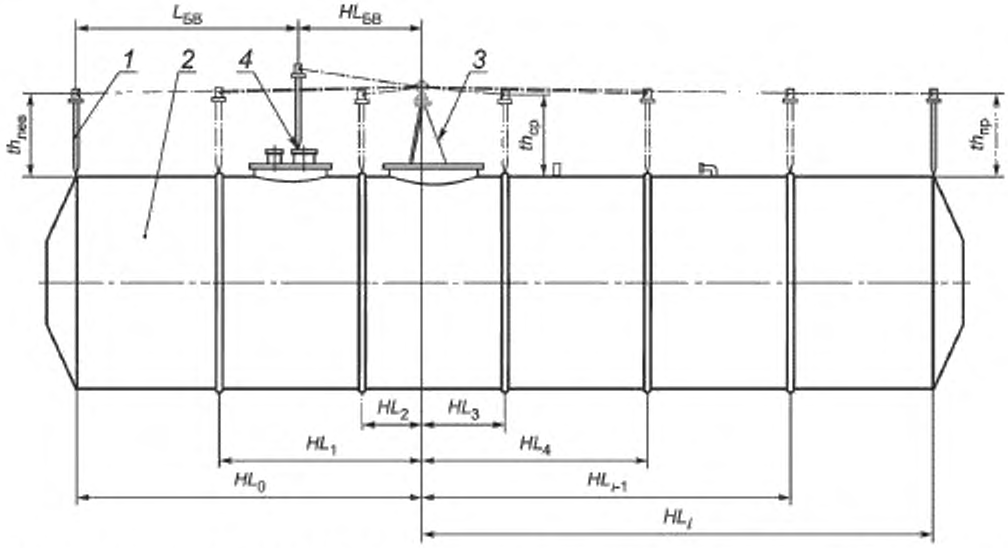
1 — тахеометр. *2* — плоскость измерений; *3* — 1-й пояс; *4* — *i*-й пояс резервуара

Рисунок А.14 — Схема измерений длин поясов с наземной станции съемки



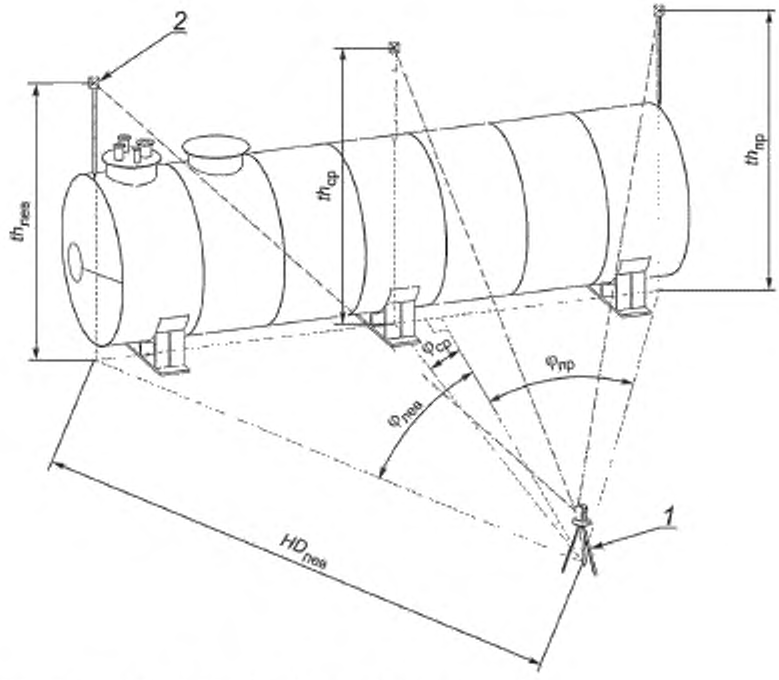
1 — цилиндрическая стенка резервуара; *2* — тахеометр; *3* — веха с призменным отражателем

Рисунок А.15 — Схема ориентирования тахеометра вдоль продольной оси резервуара (вид сверху)



1 — веха с призменным отражателем; *2* — 1-й пояс резервуара; *3* — тахеометр, *4* — точка измерения базовой высоты; $L_{БВ}$ — расстояние от точки измерения базовой высоты до сварного шва 1-го пояса

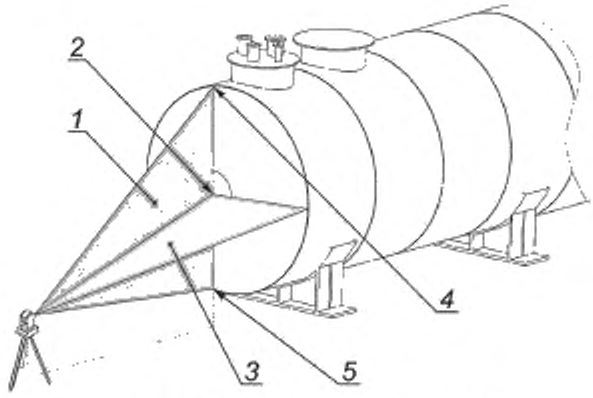
Рисунок А.16 — Схема измерений длин поясов резервуара с верхней образующей резервуара и координаты точки измерения базовой высоты



Примечание — Расстояния $HD_{ср}$, $HD_{пр}$ условно не показаны.

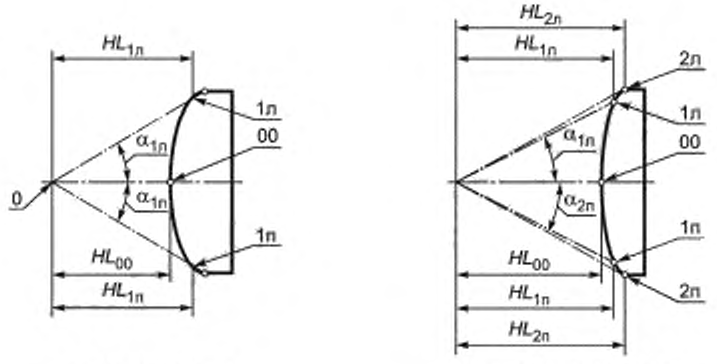
1 — тахеометр, *2* — веха с призменным отражателем

Рисунок А.17 — Схема измерений степени наклона и непрямолинейности оси резервуара



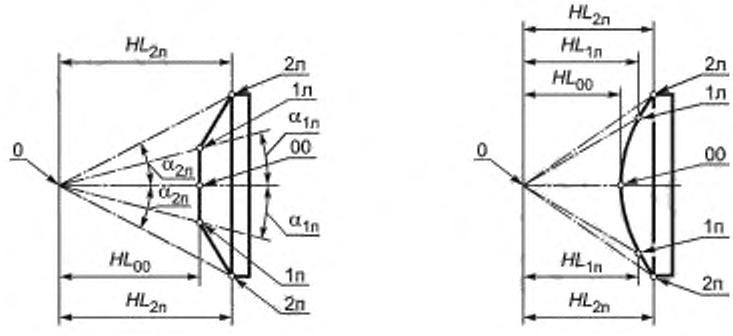
1 — вертикальная плоскость, *2* — центр днища; *3* — горизонтальная плоскость; *4*, *5* — места установок сферических марок

Рисунок А.18 — Схема определения центра днища резервуара и место установки призмы



а – эллиптическое

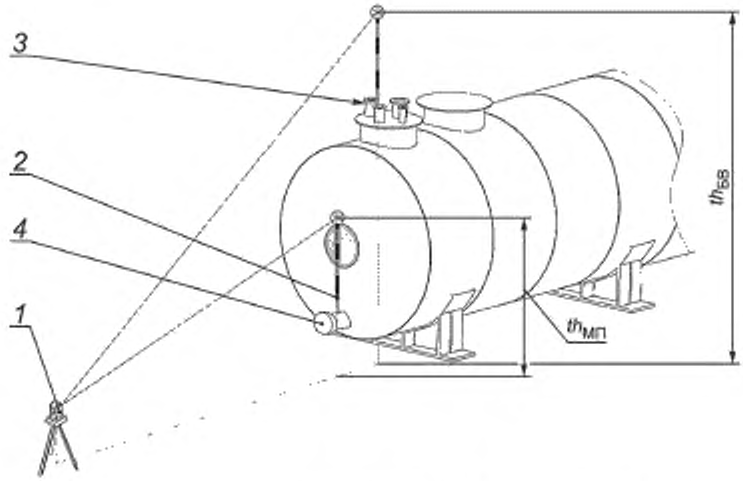
б – торосферическое



в – усеченно-коническое

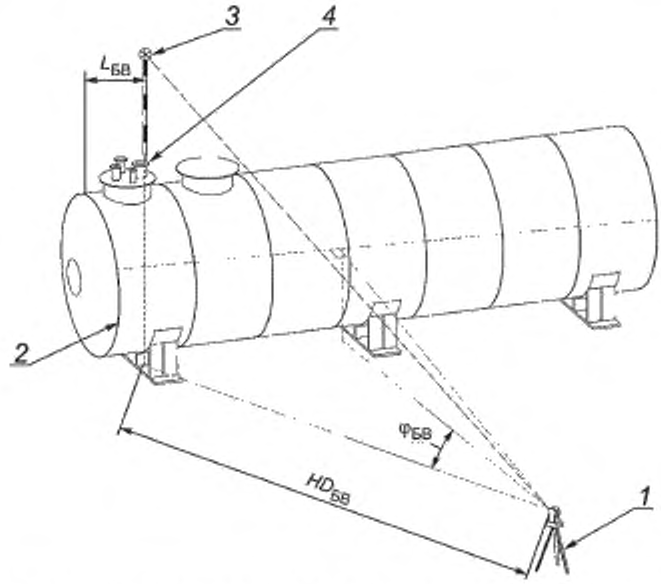
г – сферическое

Рисунок А.19 — Схема измерений параметров днищ в вертикальной плоскости методом наружных измерений



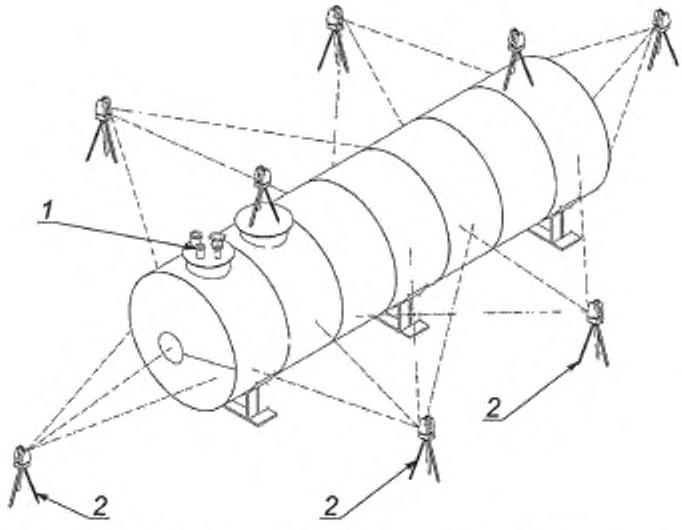
1 — тахеометр; *2* — веха с призменным отражателем; *3* — фланец измерения базовой высоты; *4* — приемо-раздаточный патрубок

Рисунок А.20 — Схема измерений высоты «мертвой» полости резервуара при наружных измерениях



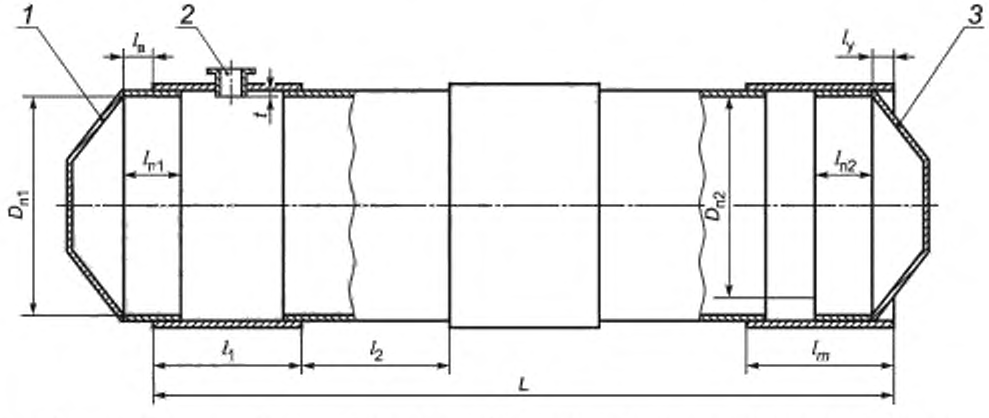
1 — тахеометр; *2* — веха с призменным отражателем; *3* — точка измерения базовой высоты; *4* — измерительный люк (направляющая труба); $L_{БВ}$ — расстояние от точки измерения базовой высоты до сварного шва 1-го пояса

Рисунок А.21 — Схема измерений координаты измерений базовой высоты с наземной станции съемки



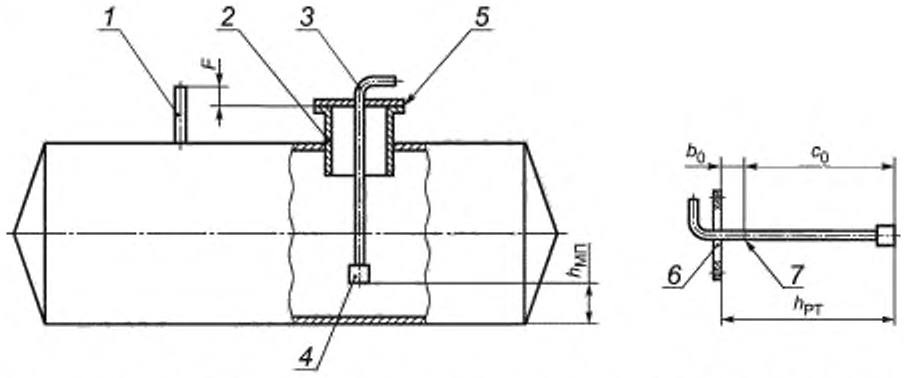
1 — точка измерений базовой высоты и установки сферической марки; *2* — станции съемки

Рисунок А.22 — Схема сканирования наружной поверхности резервуара



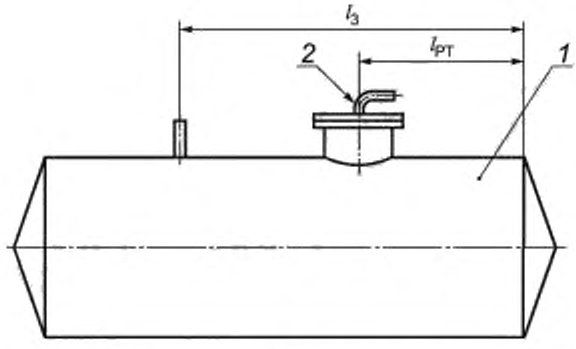
1, *3* — днища резервуара, *2* — горловина; $l_{п1}$, $l_{п2}$ — глубина заложения 1-го (переднего) и *m*-го (заднего) днища, $l_в$ — выступ днища; $l_у$ — углубление днища; t — глубина заложения горловины; l_1, l_2,..., l_m — внешние длины поясов; L — общая длина цилиндрической части резервуара

Рисунок А.23 — Схема измерений параметров резервуара



1 — измерительная труба; *2* — горловина, *3* — расходная труба: *4* — приемный клапан; *5* — прокладка; *6* — крышка горловины, *7* — отметка на поверхности расходной трубы

Рисунок А.24 — Схема резервуара с расходной трубой



1 — цилиндрическая часть резервуара; *2* — расходная труба; $l_{РТ}$ — расстояние между расходной трубой и поднятым краем резервуара; l_3 — расстояние между измерительной трубой и поднятым краем резервуара

Рисунок А.25 — Схема измерений параметра $l_{РТ}$ с расходной трубой

Приложение Б
(обязательное)

Форма протокола измерений параметров резервуара с применением тахеометра

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	Форма днищ		Неопределенность определения вместимости резервуара, %
		1-го (переднего)	2-го (заднего)	
9	10	11	12	13

Таблица Б.2 — Условия проведения измерений

Температура, °С		Загазованность, мг/м^3	Высота превышения призмы h, мм
воздуха	стенки резервуара $T_р$		

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		
Горловина		
Верхний край измерительной трубы		
Фланец уровнемера		

Таблица Б.4 — Измерение внутренних диаметров поясов резервуара

В миллиметрах

Номер пояса	Сечение пояса											
	левое				среднее				правое			
	SD_{in}	α_{in}, град	круг		SD_{ic}	α_{ic}, град	круг		SD_{in}	α_{ic}, град	круг	
			правый $SD_{in}^{пр}$	левый $SD_{in}^{лев}$			правый $SD_{ic}^{пр}$	левый $SD_{ic}^{лев}$			правый $SD_{in}^{пр}$	левый $SD_{in}^{лев}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												
2												
...												
n												

Таблица Б.5 — Другие параметры поясов

В миллиметрах

Номер пояса	Измерение длины пояса, показания тахеометра HL_i	Толщина		Длина нахлеста $l_{нх}$	Схема нахлеста (+, –, 0)
		стенки $\delta_р$	слоя краски $\delta_{с.к}$		
1	2	3	4	5	6
1					
2					
...					
n					

Примечания

1 Графы 3, 4, 5, 6 заполняют при наружных измерениях по разделу 12.

2 В графе 6 указывают «+», если текущий пояс включает в себя предшествующий; указывают «–» — если текущий пояс включается в предшествующий; при сварке встык проставляют «0».

Таблица Б.6 — Измерение параметров «мертвой» полости

В миллиметрах

Номер измерения	Высота превышения			Горизонтальное проложение		Диаметр $D_{нар}$	Толщина $\delta_{ПРП}$
	$th_{МП}$	$tH_{БВ}$	$th_{БВ}$	HL_0	$HL_{МП}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							

Примечания

1 Графы 2, 4, 5, 6, 7, 8 заполняют при выполнении измерений по 10.5.

2 Графы 3, 4, 7, 8 заполняют при выполнении измерений по 12.7.1.

Таблица Б.7 — Параметры днища

Номер днища	Форма днища	Горизонтальное проложение, мм						
		$HL_{дн0}$	HL_{00}	HL_{1}	$HL_{1п}$	$HL_{2п}$	$HL_{1п}$	$HL_{2п}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 (переднее)								
2 (заднее)								
Примечание — Графы 14, 15 заполняют при измерениях по 12.6.5.								

Окончание таблицы Б.7

Номер днища	Угловые измерения, град				Толщина, мм	
	$\alpha_{1п}$	$\alpha_{2п}$	$\alpha_{1п}$	$\alpha_{2п}$	стенки днища $\delta_{дн}$	слоя краски $\delta_{с.к.дн}$
	10	11	12	13	14	15
1 (переднее)						
2 (заднее)						

Таблица Б.8 — Объемы внутренних деталей цилиндрической (прямоугольной) формы

В миллиметрах

Диаметр	Длина	Высота от плоскости, принятой за начало отсчета уровня жидкости	
		Нижняя граница	Верхняя граница

Таблица Б.9 — Объемы внутренних деталей прочей формы

Объем, $м^3$	Поперечное сечение детали		Высота от плоскости, принятой за начало отсчета уровня жидкости, мм	
	Площадь, $м^2$	Высота, мм	Нижняя граница	Верхняя граница

Таблица Б.10 — Длины окружности поясов Р

В миллиметрах

Номер пояса	Левое сечение		Среднее сечение		Правое сечение	
	1-е измерение	2-е измерение	1-е измерение	2-е измерение	1-е измерение	2-е измерение
1						
2						
...						
n						

Таблица Б.11 — Длины поясов (наземная станция)

Номер пояса	$HD_г$, мм		$\varphi_г$, град	
	1-е измерение	2-е измерение	1-е измерение	2-е измерение
0				
1				
2				
...				
n				

Таблица Б.12 — Степень наклона и непрямолинейности оси резервуара

№ изм.	Левое сечение			Среднее сечение			Правое сечение		
	$th_{лев}$, мм	$HD_{лев}$, мм	$\varphi_{лев}$, град	$th_{ср}$, мм	$HD_{ср}$, мм	$\varphi_{со}$, град	$th_{пр}$, мм	$HD_{пр}$, мм	$\varphi_{пр}$, град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
Примечание — Графы 3, 4, 6, 7, 9, 10 заполняют при выполнении измерений по 12.5.									

Таблица Б.13 — Глубина заложения днищ $l_п$

Номер днища	Номер измерения	Показание линейки или штангенциркуля $l_п$, мм
1 (переднее)	1	
	2	
2 (заднее)	1	
	2	

Таблица Б.14 — Длина выступа днищ $l_в$

Номер днища	Место измерений длины выступа днища	Показание штангенциркуля или линейки $l_в$, мм
1 (переднее)	По верхней образующей	
	По нижней образующей	
2 (заднее)	По верхней образующей	
	По нижней образующей	

Таблица Б.15 — Длина углубления днищ $l_у$

Номер днища	Место измерений длины углубления днища	Показание штангенциркуля или линейки $l_у$, мм
1 (переднее)	По верхней образующей	
	По нижней образующей	
2 (заднее)	По верхней образующей	
	По нижней образующей	

Таблица Б.16 — Высота «мертвой» полости резервуара

В миллиметрах

Измеряемый параметр	Номер измерения	Показания линейки, измерительной рулетки, мм	
		при наличии измерительной трубы	при отсутствии измерительной трубы
Высота «мертвой» полости	1		
	2		

Таблица Б.17 — Координаты точки измерения базовой высоты

$HD_{БВ}$, мм	$\Phi_{БВ}$, град	$HL_{БВ}$, мм	t, мм
1	2	3	4

Примечания

1 Графы 1, 2 заполняют при проведении измерений по 12.8.2.

2 Графу 3 заполняют при проведении измерений по 12.8.3.

Таблица Б.18 — Параметры расходной, измерительной трубы

Измеряемый параметр	Номер измерения	Показания линейки, измерительной рулетки, мм
Расстояние между расходной трубой и поднятым краем цилиндрической части резервуара $L_{РТ}$	1	
	2	
Расстояние между измерительной трубой и поднятым краем цилиндрической части резервуара l'_3	1	
	2	

Специалист по калибровке

_____ _____ _____

должность личная подпись инициалы, фамилия

«___» _____ 20__ г.

Приложение В
(рекомендуемое)

Форма акта измерений базовой высоты резервуара

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель предприятия — владельца
резервуара (директор, гл. 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 горизонтального цилиндрического (РГС)-_____ №_____

при температуре окружающего воздуха _____ °С.

Измерения проведены рулеткой типа _____ № _____ со сроком

действия поверки до «___» _____ 20__ г.

Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 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 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
о калибровке № _____

УТВЕРЖДАЮ
_____
_____
«___» _____ 20__ г.

ГРАДУИРОВОЧНАЯ ТАБЛИЦА
на резервуар стальной горизонтальный цилиндрический

РГС_____ №_____

Организация_____
Место нахождения _____
Данные соответствуют стандартной температуре 15 °С (20 °С)
(*ненужное удалить*)
Неопределенность вместимости указана в градуировочной таблице
Срок очередной калибровки _____

Специалист по калибровке
_____
личная подпись
_____
должность, инициалы, фамилия

Г.2 Форма градуировочной таблицы резервуара

Лист __ из ___

Организация _____
Резервуар №_____

Таблица Г.1 — Посантиметровая вместимость резервуара

Уровень наполнения, см	Вместимость, $м^3$	Коэффициент вместимости, $м^3/мм$	Неопределенность определения вместимости, %
1	2	3	4
$H_и$[2)]			
$H_и + 1$…			
…			
…			
$H_{пр}$			

[1)] Форма градуировочной таблицы не подлежит изменению.
[2)] См. 3.10.

Таблица Г.2 — Посантиметровая вместимость в пределах «мертвой» полости[1)]

Уровень наполнения, см	Вместимость, $м^3$	Коэффициент вместимости, $м^3/мм$	Неопределенность определения вместимости, %
1	2	3	4
0			
1			
...			
...			
$H_{МП}$			

[1)] Заполняют по требованию.

Приложение Д
(обязательное)

Обработка результатов измерений при применении тахеометра

Д.1 Вычисление внутренних диаметров

Д.1.1 Внутренние диаметры в сечении (нижнее, верхнее) *i*-го пояса резервуара $D^i_{н(в)}$, мм, измеренные по 10.3, вычисляют по формуле

$$D^i_{н(в)} = 2R^i_{н(в)}, \quad (Д.1)$$

где $R^i_{н(в)}$ — внутренний радиус в нижнем (верхнем) сечении *i*-го пояса, мм.

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

- наклонного расстояния $l^i_{Nн(в)}$ (параметр *SD*);
- вертикального угла $V^i_{Nн(в)}$ (параметр V_z);
- горизонтального угла φ_N (параметр H_z).

Д.1.3 Положение точки (например, точка *A*), лежащей на поверхности стенки пояса, определяется координатами декартовой системы координат (x_{ij}, y_{ij}).

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 расположении точки установки тахеометра Т1 (рисунок Д.1) левее вертикальной плоскости, проходящей через нижнюю образующую резервуара:

а) при направлении визирной линии тахеометра к точке *A* расстояние R^n_{1j}, мм, от точки (x^n_{1j}, y^n_{1j}) до геометрического центра резервуара в заданном сечении в соответствии (см. [4]) вычисляют по формуле

$$R^n_{1j} = \sqrt{\left(x^n_{1j} - a\right)^2 + \left(y^n_{1j} - b\right)^2}, \quad (Д.2)$$

где (x^n_{1j}, y^n_{1j}) — координаты точки *A*, мм, вычисляемые по формулам:

$$x^n_{1j} = l^n_{1j} \cdot \cos \alpha^n_{1j}; \quad (Д.3)$$

$$y^n_{1j} = l^n_{1j} \cdot \sin \alpha^n_{1j}, \quad (Д.4)$$

где l^n_{1j} — наклонное расстояние, мм;

α^n_{1j} — вертикальный угол, град.

a, *b* — координаты начала отсчета измерений, мм.

б) при направлении визирной линии тахеометра к точке *E* расстояние R^n_{1j}, мм, от точки (x^n_{1j}, y^n_{1j}) до геометрического центра резервуара в заданном сечении вычисляют по формуле

$$R^n_{1j} = \sqrt{\left(x^n_{1j} - a\right)^2 + \left(y^n_{1j} - b\right)^2}. \quad (Д.5)$$

Внутренний радиус *i*-го пояса при *j*-м измерении R_{ij}, мм, вычисляют по формуле

$$R_{ij} = \sqrt{\left(x_{ij} - a\right)^2 + \left(y_{ij} - b\right)^2}. \quad (Д.6)$$

где x_{ij}, y_{ij} — координаты точки на внутренней поверхности стенки пояса в прямоугольной системе координат, мм;

a, *b* — координаты начала системы координат, начало которой совпадает с центром резервуара, мм.

Д.1.5 Координаты центра резервуара *a*, *b* и расстояние *R* от точек на поверхности пояса (x_{ij}, y_{ij}) до центра окружности вычисляют методом наименьших квадратов.

Д.1.6 Критерием выбора наиболее подходящей окружности является условие, по которому сумма квадратов расстояний от точек (x_{ij}, y_{ij}) до окружности должна быть минимальной (см. [4]). Расстояние *R* от точек (x_{ij}, y_{ij}) на поверхности *i*-го пояса резервуара до центра окружности вычисляют по формуле

$$R = (x_{ij} - a)^2 + (y_{ij} - b)^2, \quad (Д.7)$$

где *a*, *b* — координаты центра окружности, мм.

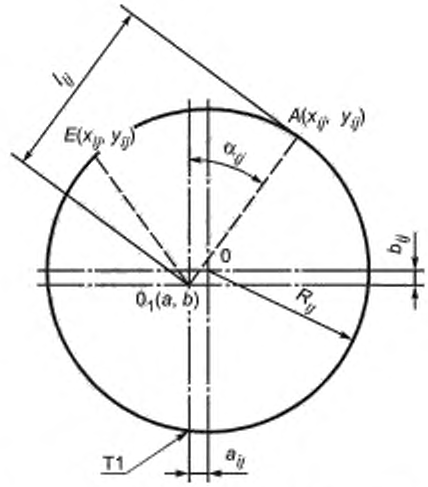


Рисунок Д.1 — Параметры измерений радиуса R_{ij} i-го пояса при j-м измерении

Значение величин a, b, R определяют из условия минимума функции $f(a, b, R)$ с учетом степени наклона и разворота резервуара, вычисляемой по формуле

$$f(a, b, R) = \sum_{j=1}^{m} \left\{ \sqrt{\frac{(x_{ij} - a)^2}{1 + \eta^2} + (y_{ij} - b)^2} - R^2 \right\}. \quad (Д.8)$$

Для нахождения минимума функции по формуле (Д.8) все частные производные приравнивают к нулю (см. [4]):

$$\frac{\partial f}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial f}{\partial b} = 0; \quad \frac{\partial f}{\partial R} = 0. \quad (Д.9)$$

Д.1.7 Используя условие (Д.9), получают систему уравнений с учетом степени наклона η, совпадающую с системой уравнений, приведенной в [4] без учета наклона резервуара.

$$a = \left[\sum_{j=1}^{m} \frac{x_j}{\sqrt{1 + \eta^2}} - R \sum_{j=1}^{m} \frac{(x_j - a)}{R_j \sqrt{1 + \eta^2}} \right] \cdot \frac{1}{m}; \quad (Д.10)$$

$$b = \left[\sum_{j=1}^{m} y_j - R \sum_{j=1}^{m} \frac{(y_j - b)}{R_j} \right] \cdot \frac{1}{m}; \quad (Д.11)$$

$$R = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^{m} R_j. \quad (Д.12)$$

где m — число измерений координат (x_{ij}, y_{ij});

j — номер точки измерений координат (x_{ij}, y_{ij}), значение которого выбирают из ряда: 1, 2, 3,..., m;

R_j — радиус пояса, вычисляемый по формуле

$$R_j = \sqrt{\frac{(x_j - a)^2}{\sqrt{1 + \eta^2}} + (y_j - b)^2}. \quad (Д.13)$$

Вычисление величин a, b, R проводят в следующей последовательности.

Д.1.8 Вычисление величин a, b, R в нулевом приближении (a_0, b_0, R_0):

а) устанавливают значение a, b, η в формуле (Д.13) равным нулю;

б) вычисляют R_0 по формуле

$$R_0 = \frac{1}{4}(r_{0.1} + r_{0.2} + r_{0.3} + r_{0.4}).$$

Примечание — В обозначении $r_{i,j}$ индексы i, j соответствуют номеру приближения (итерации) и номеру измерения соответственно.

$$r_{0.1}=\sqrt{x_1^2+y_1^2};\qquad r_{0.2}=\sqrt{x_2^2+y_2^2};\qquad r_{0.3}=\sqrt{x_3^2+y_3^2};\qquad r_{0.4}=\sqrt{x_4^2+y_4^2};$$

$$a_0=\frac{x_1+x_2+x_3+x_4}{4}-\frac{r_0}{4}\left(\frac{x_1}{\sqrt{x_1^2+y_1^2}}+\frac{x_2}{\sqrt{x_2^2+y_2^2}}+\frac{x_3}{\sqrt{x_3^2+y_3^2}}+\frac{x_4}{\sqrt{x_4^2+y_4^2}}\right);$$

$$b_0=\frac{y_1+y_2+y_3+y_4}{4}-\frac{r_0}{4}\left(\frac{y_1}{\sqrt{x_1^2+y_1^2}}+\frac{y_2}{\sqrt{x_2^2+y_2^2}}+\frac{y_3}{\sqrt{x_3^2+y_3^2}}+\frac{y_4}{\sqrt{x_4^2+y_4^2}}\right).$$

Д.1.9 Вычисление величин a, b, R в первом приближении (a_1, b_1, R_1)

$$R_1=\frac{1}{4}(r_{1.1}+r_{1.2}+r_{1.3}+r_{1.4});$$

$$r_{1.1}=\sqrt{\left(x_1-a_0\right)^2+\left(y_1-b_0\right)^2};\quad r_{1.2}=\sqrt{\left(x_2-a_0\right)^2+\left(y_2-b_0\right)^2};$$

$$r_{1.3}=\sqrt{\left(x_3-a_0\right)^2+\left(y_3-b_0\right)^2};\quad r_{1.4}=\sqrt{\left(x_4-a_0\right)^2+\left(y_4-b_0\right)^2};$$

$$a_1=\frac{x_1+x_2+x_3+x_4}{4}-\frac{r_1}{4}\left(\frac{(x_1-a_0)}{r_{1.1}}+\frac{(x_2-a_0)}{r_{1.2}}+\frac{(x_3-a_0)}{r_{1.3}}+\frac{(x_4-a_0)}{r_{1.4}}\right);$$

$$b_1=\frac{y_1+y_2+y_3+y_4}{4}-\frac{r_1}{4}\left(\frac{(y_1-a_0)}{r_{1.1}}+\frac{(y_2-a_0)}{r_{1.2}}+\frac{(y_3-a_0)}{r_{1.3}}+\frac{(y_4-a_0)}{r_{1.4}}\right).$$

Д.1.10 Вычисление величин a, b, R во втором приближении (a_2, b_2, R_2)

$$R_2=\frac{1}{4}(r_{2.1}+r_{2.2}+r_{2.3}+r_{2.4});$$

$$r_{2.1}=\sqrt{\left(x_1-a_1\right)^2+\left(y_1-b_1\right)^2};\quad r_{2.2}=\sqrt{\left(x_2-a_1\right)^2+\left(y_2-b_1\right)^2};$$

$$r_{2.3}=\sqrt{\left(x_3-a_1\right)^2+\left(y_3-b_1\right)^2};\quad r_{2.4}=\sqrt{\left(x_4-a_1\right)^2+\left(y_4-b_1\right)^2};$$

$$a_2=\frac{x_1+x_2+x_3+x_4}{4}-\frac{r_2}{4}\left(\frac{(x_1-a_1)}{r_{2.1}}+\frac{(x_2-a_1)}{r_{2.2}}+\frac{(x_3-a_1)}{r_{2.3}}+\frac{(x_4-a_1)}{r_{2.4}}\right);$$

$$b_2=\frac{y_1+y_2+y_3+y_4}{4}-\frac{r_2}{4}\left(\frac{(y_1-a_1)}{r_{2.1}}+\frac{(y_2-a_1)}{r_{2.2}}+\frac{(y_3-a_1)}{r_{2.3}}+\frac{(y_4-a_1)}{r_{2.4}}\right).$$

Д.1.11 Операции вычисления прекращают в случае выполнения условия $|R_i - R_{i-1}| \le 0{,}001$ мм.

Д.1.12 Наружные диаметры в k-м сечении (левое, среднее, правое) i-го пояса резервуара $(D_i^k)_н$, мм, измеренные по 12.3, вычисляют по формуле

$$(D_i^k)_н=\frac{(P')_i^k+(P'')_i^k}{2\pi},\qquad (Д.14)$$

где P', P'' — длины окружности при первом и втором измерениях, мм;

π — число, принимаемое в расчетах равным: 3,1415926535.

Д.1.13 Внутренние диаметры в k-м сечении (левое, среднее, правое) i-го пояса резервуара D_i^k, мм, измеренные по 12.3, вычисляют по формуле

$$D_i^k=(D_i^k)_н-2(\delta_р+\delta_{с.к}),\qquad (Д.15)$$

где $(D_i^k)_н$ — значения наружных диаметров, вычисленные по формуле (Д.14), мм;

$\delta_р$ — толщина стенок поясов, значение которой определяют как среднее арифметическое результатов двух измерений, мм;

$\delta_{с.к}$ — толщина слоя краски, мм.

Д.1.14 Внутренний диаметр i-го пояса D_i мм, вычисляют по формуле

$$D_i = \frac{D_i^{\text{л}} + D_i^{\text{с}} + D_i^{\text{п}}}{3}, \quad (Д.16)$$

где л, с, п — обозначения сечений пояса (л — левое, с — среднее, п — правое).

Д.1.15 Внутренние диаметры переднего $D_{\text{п}1}$ и заднего $D_{\text{п}2}$ поясков (рисунок А.23) вычисляют по формулам

$$D_{\text{п}1} = D_1 - 2\delta_{\text{п}}; \quad (Д.17)$$

$$D_{\text{п}2} = D_m - 2\delta_{\text{п}}, \quad (Д.18)$$

где D_1, D_m — диаметры 1-го и m-го (последнего) поясов, мм;

$\delta_{\text{п}}$ — толщина стенки поясков, мм.

Д.1.16 Внутренний диаметр цилиндрической части резервуара (далее — диаметр резервуара) D, мм, вычисляют по формуле

$$D = \frac{D_{\text{п}1} \cdot l_{\text{п}1} + \sum_{i=1}^{m} (D_i \cdot l_i) + D_{\text{п}2} \cdot l_{\text{п}2}}{L_{A(B)}}, \quad (Д.19)$$

где $D_{\text{п}1}$, $D_{\text{п}2}$ — внутренние диаметры переднего и заднего поясков, вычисляемые по формулам (Д.17), (Д.18) соответственно, мм;

$l_{\text{п}1}$, $l_{\text{п}2}$ — глубина заложения переднего и заднего поясов, мм;

m — число поясов резервуара;

$L_{A(B)}$ — длина цилиндрической части резервуара, вычисляемая по формуле (Д.37) или (Д.38), или (Д.39), или (Д.40), мм.

Д.1.17 Результаты вычислений по формулам (Д.1), (Д.15), (Д.19) вносят в журнал обработки результатов измерений, форма которого приведена в приложении К (таблица К.1).

Д.2 Вычисление внутренних длин поясов резервуара

Д.2.1 При измерении длин поясов по 10.4 длину i-го пояса L_i, мм, вычисляют:

- в пределах от 1-го пояса до k–1 пояса по формуле

$$L_i' = HL_{i-1} - HL_i, \quad (Д.20)$$

где i — номер текущего пояса (1, 2,..., k – 1);

k — номер пояса установки тахеометра (станция съемки);

HL_i, HL_{i-1} — измеренные горизонтальные проложения последующего и предыдущего пояса, мм;

- в пределах k-го пояса по формуле

$$L_k = HL_{k-1} + HL_k; \quad (Д.21)$$

- в пределах k+1 пояса вычисляют по формуле

$$L_i^{\bullet} = HL_{i+1} - HL_i, \quad (Д.22)$$

где i — номер текущего пояса (k+1, ..., i).

Д.2.2 При измерении длин поясов по 12.4.2 длину L_i, мм, вычисляют:

а) 1-го пояса L_1' или $L_1^{\bullet}$, мм, по формулам:

- при наличии углубления переднего (не поднятого в результате наклона резервуара) днища

$$L_1' = (HL_0 - HL_1) - l_{\text{п}1} - l_{\text{у}1} - l_{\text{нх}}; \quad (Д.23)$$

- при наличии выступа переднего днища

$$L_1^{\bullet} = (HL_0 - HL_1) - l_{\text{в}1} - l_{\text{п}1} - l_{\text{нх}}, \quad (Д.24)$$

где L_1 — длина 1-го пояса, мм;

$l_{\text{п}1}$ — глубина заложения переднего днища, мм;

$l_{\text{у}1}$, $l_{\text{в}1}$ — длины углубления и выступа переднего днища, мм;

$l_{\text{нх}}$ — длина нахлеста, значение которой принимают по технической документации (проекта), мм.

б) в пределах от 2-го пояса до k—1 пояса по формуле

$$L_i' = HL_{i-1} - HL_i + l_{\text{нх}}, \quad (Д.25)$$

где i — номер текущего пояса (1, 2,..., k–1);

k — номер пояса установки тахеометра (станция съемки);

HL_i, HL_{i-1} — измеренные горизонтальные проложения последующего и предыдущего поясов, мм;

в) в пределах k-го пояса по формуле

$$L_k = HL_{k-1} + HL_k; \quad (Д.26)$$

г) в пределах от k+1 до m—1 пояса по формуле

$$L_i^{\bullet} = HL_{i+1} - HL_i + l_{нх}, \quad (Д.27)$$

где i — номер текущего пояса (k+1, …, i);

m — число поясов резервуара;

д) последнего m-го пояса l_m' или $l_m^{\bullet}$ по формулам:

- при наличии углубления переднего (не поднятого в результате наклона резервуара) днища

$$L_m' = (HL_m - HL_{m-1}) - l_{п2} - l_{у2} - l_{нх}; \quad (Д.28)$$

- при наличии выступа переднего днища

$$L_m^{\bullet} = (HL_m - HL_{m-1}) + l_{в2} - l_{п2} - l_{нх}. \quad (Д.29)$$

где $l_{п2}$ — глубина заложения заднего днища, мм;

$l_{у2}$, $l_{в2}$ — длины углубления и выступа заднего днища, мм;

$l_{нх}$ — длина нахлеста, мм.

Д.2.3 При измерении длин поясов по 12.4.1, длину i-го пояса L_i, мм, вычисляют:

а) 1-го пояса L_1' или $L_1^{\bullet}$, мм, по формулам:

- при наличии углубления переднего (не поднятого в результате наклона резервуара) днища

$$L_1' = |HD_{i-1} \cdot \sin(\varphi_{i-1})| - |HD_i \cdot \sin(\varphi_i)| - l_{п1} - l_{у1} - l_{нх}; \quad (Д.30)$$

- при наличии выступа переднего днища

$$L_1^{\bullet} = |HD_{i-1} \cdot \sin(\varphi_{i-1})| - |HD_i \cdot \sin(\varphi_i)| - l_{в1} - l_{п1} - l_{нх}, \quad (Д.31)$$

где HD_i, HD_{i-1} — горизонтальные проложения наклонных расстояний последующего и предыдущего поясов, мм;

$l_{п1}$ — глубина заложения переднего днища, мм;

$l_{у1}$, $l_{в1}$ — длины углубления и выступа переднего днища, мм;

$l_{нх}$ — длина нахлеста, ее значение принимают из технической документации (проекта), мм.

б) в пределах от 2-го пояса до k–1 пояса вычисляют по формуле

$$L_1' = |HD_{i-1} \cdot \sin(\varphi_{i-1})| - |HD_i \cdot \sin(\varphi_i)| + l_{нх}; \quad (Д.32)$$

где i — номер текущего пояса (1, 2,..., k–1);

k — номер пояса установки визирной оси тахеометра по нормали;

HD_i, HD_{i-1} — горизонтальные проложения наклонных расстояний последующего и предыдущего поясов, мм;

в) в пределах k-го пояса по формуле

$$L_k = |HD_{k-1} \cdot \sin(\varphi_{k-1})| + HD_k \cdot \sin(\varphi_k) + l_{нх}; \quad (Д.33)$$

г) в пределах от k+1 до m–1 до пояса по формуле

$$L_1^{\bullet} = HD_{i+1} \cdot \sin(\varphi_{i+1}) - HD_i \cdot \sin(\varphi_i) + l_{нх}, \quad (Д.34)$$

где i — номер текущего пояса (k + 1, …, i);

m — число поясов резервуара;

д) последнего m-го пояса l_m' или $l_m^{\bullet}$ по формулам:

- при наличии углубления переднего (не поднятого в результате наклона резервуара) днища

$$L_m' = HD_m \cdot \sin(\varphi_{i+1}) - HD_{m-1} \cdot \sin(\varphi_i) - l_{п2} - l_{у2} - l_{нх}; \quad (Д.35)$$

- при наличии выступа переднего днища

$$L_m^{\bullet} = HD_m \cdot \sin(\varphi_{i+1}) - HD_{m-1} \cdot \sin(\varphi_i) + l_{в2} - l_{п2} - l_{нх}, \quad (Д.36)$$

где L_m — длина последнего m-го пояса, мм;

$l_{п2}$ — глубина заложения заднего днища, мм;

$l_{у2}$, $l_{в2}$ — длины углубления и выступа заднего днища, мм;

$l_{нх}$ — длина нахлеста, мм.

Д.2.4 Длину цилиндрической части резервуара L_A, мм, вычисляют:

а) при измерении длин поясов по 10.4, 12.4.1, 12.4.2 при наличии выступов днищ (кроме плоских днищ) по формуле

$$L'_A = \sum_{i=1}^{k-1} L_i + L_k + \sum_{i=k+1}^{m} L_i + l_{в1} + l_{в2}; \quad (Д.37)$$

б) при измерении длин поясов по 12.4.1, 12.4.2 при наличии углубления днищ (кроме плоских днищ) по формуле

$$L''_A = \sum_{i=1}^{k-1} L_i + L_k + \sum_{i=k+1}^{m} L_i - l_{у1} - l_{у2}. \quad (Д.38)$$

Д.2.5 Длину цилиндрической части резервуара с плоскими днищами L_B, мм, вычисляют:

а) при измерении длин поясов по 10.4 — по формуле (Д.37);

б) при измерении длин поясов по 12.4.1, 12.4.2:

- при наличии выступов днищ по формуле

$$L'_B = \sum_{i=1}^{k-1} L_i + L_k + \sum_{i=k+1}^{m} L_i + l_{в1} + l_{в2} - 2\delta_д; \quad (Д.39)$$

- при наличии углубления днищ по формуле

$$L''_B = \sum_{i=1}^{k-1} L_i + L_k + \sum_{i=k+1}^{m} L_i - l_{у1} - l_{у2} - 2\delta_д, \quad (Д.40)$$

где $\delta_д$ — толщина стенок днищ, мм.

Д.2.6 Результаты вычислений значений L_i, L вносят в журнал обработки результатов измерений, форма которого приведена в приложении К (таблица К.1 и таблица К.2 соответственно).

Д.3 Вычисление степени наклона

Д.3.1 Степень наклона резервуара η вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{th_{лев} - th_{пр}}{L_р}, \quad (Д.41)$$

где $th_{лев}$, $th_{пр}$ — высоты превышений, измеренные по 10.4, 12.4, 12.5, мм;

$L_р$ — расстояние между вехами с призменным отражателем, мм.

Д.3.2 Величину $L_р$, мм, при измерении длин поясов с наземной станции съемки по 12.4.1 вычисляют по формуле

$$L_р = |HD_{лев} \cdot \sin(\varphi_{лев})| + HD_{пр} \cdot \sin(\varphi_{пр}), \quad (Д.42)$$

где $HD_{лев}$, $HD_{пр}$ — горизонтальные проложения расстояний, измеренные по 12.5, мм.

Д.3.3 Величину $L_р$, мм, при измерении длин поясов по 10.4, 12.4.2 принимают равной значению L, вычисленному по формуле (Д.37).

Д.3.4 Значение величины степени наклона η вносят в журнал обработки результатов измерений, форма которого приведена в приложении К (таблица К.2).

Д.4 Вычисление вместимости резервуара

Д.4.1 Вычисление вместимости наклоненного резервуара

Д.4.1.1 В настоящем стандарте предусмотрено измерение уровня и базовой высоты в трех точках с применением:

а) стационарно смонтированного на резервуаре уровнемера;

б) измерительной рулетки с грузом;

в) метроштока.

Вследствие этого резервуар должен иметь индивидуальную градуировочную таблицу на каждое средство измерений уровня.

Д.4.1.2 «Мертвый» остаток в резервуаре по 3.7 образуется при выполнении условия:

$$h_{МП} > \left(L \cdot \eta - H_и \cdot \sqrt{1 + \eta^2} \right), \quad (Д.43)$$

где $h_{МП}$ — высота «мертвой» полости, мм;

L — длина цилиндрической части, мм;

$H_и$ — исходный уровень, мм;

η — степень наклона резервуара.

При выполнении условия

$$h_{МП} = \left(L \cdot \eta - H_и \cdot \sqrt{1 + \eta^2} \right) \quad (Д.44)$$

«мертвый» остаток одновременно является и «мертвой» полостью резервуара или одновременно «мертвая» полость является «мертвым» остатком.

Д.4.1.3 Вместимость резервуара $V(z_0, y_0)$ в пределах исходного уровня $H_и$ при значениях степени наклона резервуара от 0,0005 до 0,03 для случаев, указанных в Д.4.1.2, вычисляют по формуле

$$V(z_0, y_0) = V_ц(z_0, y_0) + V_д(z_0, y_0), \qquad (Д.45)$$

где $V_ц(z_0, y_0)$ — вместимость цилиндрической части резервуара;

$V_д(z_0, y_0)$ — вместимость переднего (1-го) днища резервуара.

Д.4.1.4 Вместимость цилиндрической части резервуара $V_ц(z_0, y_0)$ вычисляют по формуле

$$V_ц(z_0, y_0) = \frac{1}{8 \cdot 10^9 \cdot \eta} \left\{ \left[\sum_{i=1}^{m} D_i^3 \left[\left(\sin\beta_{0i} - \frac{\sin\beta_{0i}^3}{3} - \beta_{0i}\cos\beta_{0i} \right) \right] + \left(\sin\beta_0 - \frac{\sin\beta_0^3}{3} - \beta_0\cos\beta_0 \right) - \right. \right.$$
$$\left. \left. - \left(\sin\alpha_{n1} - \frac{\sin\alpha_{n1}^3}{3} - \alpha_{n1}\cos\alpha_{n1} \right) \right] \right\} - V_{ВД}. \qquad (Д.46)$$

где D_i — диаметр i-го пояса, вычисляемый по формулам (Д.1), (Д.16), мм;

m — число поясов резервуара;

η — степень наклона резервуара, вычисляемая по формуле (Д.41);

$V'_{ВД}$ — объем внутренних деталей в пределах исходного уровня $H_и$;

$$\beta_{0i} = \arccos(1 - 2z_{0i}); \quad \alpha_{0i} = \arccos(1 - 2y_{0i});$$
$$\beta_0 = \arccos(1 - 2z_0); \quad \alpha_0 = \arccos(1 - 2y_0);$$
$$y_{0i} = \frac{h_{0i}}{D_i}; \quad z_{0i} = \frac{H_{0i}}{D_i}; \quad y_{n1} = \frac{h'_{n1}}{D_{n1}}; \quad z_0 = \frac{H_0^*}{D_i}.$$

Величины h_{0i}, H_{0i}, H_{0k}, h'_{n1}, H_0^* вычисляют по формулам:

а) для «мертвого» остатка:

$$(h_{0i})_{МО} = \eta \left[(L - h_{n1}) - \sum_{j=i}^{j} l_j \right] - H_и \cdot \sqrt{1+\eta^2} + (D_i - D_k) \cdot 0{,}5,$$

$$(H_{0i})_{МО} = \eta \left[(L - l_{n1}) - \sum_{j=i}^{i-1} l_j \right] - H_и \cdot \sqrt{1+\eta^2} + (D_i - D_k) \cdot 0{,}5,$$

$$(h_{0k})_{МО} = 0,$$

$$(H_{0k})_{МО} = \eta \left[(L - l_{n1}) - \sum_{j=i}^{k-1} l_j \right] - H_и \cdot \sqrt{1+\eta^2},$$

$$(h_{n1}')_{МО} = \eta(L - h_{n1}) - H_и \cdot \sqrt{1+\eta^2} + (D_1 - D_k) \cdot 0{,}5 - \delta_n,$$

$$(H_0^*)_{МО} = \eta L - H_и \cdot \sqrt{1+\eta^2} + (D_1 - D_k) \cdot 0{,}5 - \delta_n;$$

б) для полости, находящейся выше «мертвого» остатка до уровня, соответствующего высоте «мертвой» полости резервуара $H_{МП}$:

$$(h_{0i})_{МП} = (H - H_и) \cdot \sqrt{1+\eta^2} + \eta \left[(L - L_{n1}) - \sum_{j=i}^{j} l_j \right] + (D_i - D_k) \cdot 0{,}5,$$

$$(H_{0i})_{МП} = (H - H_и) \cdot \sqrt{1+\eta^2} + \eta \left[(L - L_{n1}) - \sum_{j=i}^{j} l_j \right] + (D_i - D_k) \cdot 0{,}5,$$

$$(h_{0k})_{МП} = 0,$$

$$(H_{0k})_{МП} = (H - H_и) \cdot \sqrt{1+\eta^2} + \eta \left[(L - L_{n1}) - \sum_{j=i}^{k-1} l_j \right],$$

$$(h_{n1}')_{МП} = (H - H_и) \cdot \sqrt{1+\eta^2} + \eta(L - L_{n1}) + (D_1 - D_k) \cdot 0{,}5 - \delta_n,$$

$$\left(H_0^*\right)_{\text{МП}} = (H_{\text{МП}} - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta L + (D_1 - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_{\text{п}},$$

где $H_{\text{МП}}$ — уровень, соответствующий высоте приемо-раздаточного патрубка $h_{\text{МП}}$, вычисляемый по формуле

$$H_{\text{МП}} = h_{\text{МП}}\cdot\sqrt{1+\eta^2};$$

в) для полости, находящейся выше «мертвой» полости до исходного уровня:

- при наполнении k-го пояса

$$h_{0i} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{i} l_j\right] + (D_i - D_k)\cdot 0{,}5,$$

$$H_{0i} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{i-1} l_j\right] + (D_i - D_k)\cdot 0{,}5,$$

$$h_{0k} = 0,$$

$$H_{0k} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{k-1} l_j\right],$$

$$h'_{\text{п1}} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} - \eta(L - L_{\text{п1}}) + (D_1 - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_{\text{п}},$$

$$H_0^* = (H_{\text{МП}} - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} - \eta L + (D_1 - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_{\text{п}};$$

- при наполнении (k+1)-го пояса

$$h_{0i} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{i} l_j\right] + (D_i - D_k)\cdot 0{,}5,$$

$$H_{0i} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{i-1} l_j\right] + (D_i - D_k)\cdot 0{,}5,$$

$$h_{0k+1} = 0,$$

$$H_{0k+1} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{k} l_j\right] + (D_{k+1} - D_k)\cdot 0{,}5,$$

$$h'_{\text{п1}} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + (D_1 - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_{\text{п}},$$

$$H_0^* = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + (D_1 - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_{\text{п}};$$

- при наполнении m-го (последнего) пояса

$$h_{0i} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{i} l_j\right] + (D_i - D_k)\cdot 0{,}5,$$

$$H_{0i} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{i-1} l_j\right] + (D_i - D_k)\cdot 0{,}5,$$

$$h_{0m} = 0,$$

$$H_{0m} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta\left[(L - L_{\text{п1}}) - \sum_{j=i}^{m-1} l_j\right] + (D_i - D_m)\cdot 0{,}5,$$

$$h'_{\text{п1}} = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta(L - l_{\text{п1}}) + (D_1 - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_{\text{п}},$$

$$H_0^* = (H - H_{\text{и}})\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta L + (D_1 - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_{\text{п}}, \qquad (Д.47)$$

где H — уровень жидкости в резервуаре, мм;

L — длина цилиндрической части резервуара, вычисляемая по формулам (Д.37) или (Д.38), или (Д.39), или (Д.40), мм;

D_k — диаметр пояса, на котором смонтированы горловина или измерительный люк резервуара, мм;

$l_{\text{п1}}$ — глубина заложения переднего днища, мм;

$D_{\text{п1}}$ — диаметр переднего пояска, вычисляемый по формуле (Д.17), мм;

D_1 — диаметр 1-го пояса, мм;

$\delta_п$ — толщина стенки пояска, мм.

Исходный уровень жидкости в резервуаре $H_и$ мм:

а) в случае применения уровнемера по перечислению а) Д.4.1.1 $H'_и$ вычисляют по формуле

$$H'_и = \left(l_3 + H_б \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} + \frac{b_c}{\eta \cdot \sqrt{1+\eta^2}} \right) \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}, \quad (Д.48)$$

где l_3 — координата точки измерений уровня базовой высоты резервуара, мм;

$H_б$ — базовая высота резервуара, мм;

b_c — высота сегмента (рисунок А.3, рисунок А.22), образованного за счет смещения центра измерительного люка для уровнемера от вертикальной плоскости, проходящей через нижнюю образующую резервуара, мм.

Величину b_c вычисляют по формуле

$$b_c = \frac{D_k}{2} - \sqrt{\frac{D_k^2}{4} - a^2}. \quad (Д.49)$$

где D_k — внутренний диаметр k-го пояса, на котором смонтирован измерительный люк;

a — расстояние между центром люка-лаза и измерительного люка;

б) в случае применения измерительной рулетки с грузом по перечислению б) Д.4.1.1 $H'_и$ вычисляют по формуле

$$H'_и = \left(l_3 + H_б \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \right) \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}; \quad (Д.50)$$

в) в случае применения метроштока по перечислению в) Д.4.1.1 $H''_и$ вычисляют по формуле

$$H''_и = l_3 \cdot \eta. \quad (Д.51)$$

Д.4.1.5 Вместимость днищ в пределах исходного уровня $V_{с1}(z_0)$, $V_{э1}(z_0)$, $V_{к1}(z_0)$, $V_{ук1}(z_0)$, $V_{тс1}(z_0)$ вычисляют по формулам:

а) для сферической формы

$$V_{с1} = \frac{1}{10^9} \left[\frac{D_{п1}^2 \cdot f_1}{8} + \frac{f_1^3}{6} \right] \cdot \arccos(1 - 2 \cdot z_0); \quad (Д.52)$$

б) для эллиптической формы

$$V_{э1} = \frac{\pi \cdot D_{п1}^2 \cdot f_1}{8 \cdot 10^9} \cdot J_1(z_0). \quad (Д.53)$$

Величину $J_1(z_0)$ вычисляют по формуле

$$J_1(z_0) = \frac{2}{3} - (1 - z_0) \left[1 - \frac{1}{3}(1 - 2z_0)^2 \right]; \quad (Д.54)$$

в) для конической формы

$$V_{к1} = \frac{D_{п1}^2 \cdot f_1}{12 \cdot 10^9} \cdot J_2(z_0). \quad (Д.55)$$

Величину $J_2(z_0)$ вычисляют по формуле

$$J_2(z_0) = \arccos(1 - 2z_0) - 2(1 - z_0) \cdot z_0 - z_0^2; \quad (Д.56)$$

г) для усеченно-конической формы

$$V_{ук1} = \frac{D_{п1}^2 \cdot f_1}{12 \cdot 10^9} \left[J'_2(z_0) - \frac{\mu_1}{1 - \mu_1} \cdot J(z_k^*) \right], \quad (Д.57)$$

где z_k^* — параметр, вычисляемый по формуле

$$z_k^* = \frac{H_{1.0}^*}{d_1}; \quad (Д.58)$$

$$H_{1.0}^* = H_0^* - \frac{1}{2}(D_{п1} - d_1);$$

d_1 — малый диаметр 1-го (переднего) усеченно-конического днища:

$$\mu_1 = \frac{d_1}{D_{n1}};$$

f_1 — внутренняя высота конуса.

д) для торо-сферического днища

$$V_{тс1} = V'_{c1} + V_{т1}, \quad (Д.59)$$

где V'_{c1} — вместимость сферической части днища;

$V_{тс1}$ — вместимость торовой части днища.

Вместимость V'_{c1} с учетом [3] вычисляют по формуле

$$V'_{c1} = \frac{\pi \cdot J(\varphi_1)}{10^9} \cdot K_1 \cdot J_3(z_0). \quad (Д.60)$$

Величину $J(\varphi_1)$ вычисляют по формуле

$$J(\varphi_1) = \frac{R_{c1}^3}{3}(1-\sin\varphi_1)^2 \cdot (2+\sin\varphi_1) + r_{01}\left[r_{n1} - r_{01}(1-\cos\varphi_1)\right]^2 \cdot \sin\varphi_1 + \\ + (r_{01})^2 \frac{2\varphi_1 - \sin 2\varphi_1}{2}\left[r_{n1} - r_{01}\left(\frac{6\varphi_1 - 3\sin 2\varphi_1 - 4\sin^3\varphi_1}{6\varphi_1 - 3\sin 2\varphi_1}\right)\right], \quad (Д.61)$$

где R_{c1} — внутренний радиус сферического сегмента днища, вычисляемый по формуле

$$R_{c1} = \frac{f_{01}^2 + r_{n1}^2 - 2r_{n1} \cdot r_{01}}{2(f_{01} - r_{01})}, \quad (Д.62)$$

где f_{01} — внутренняя стрела (высота) выпуклости 1-го (переднего) днища;

r_{n1} — внутренний радиус 1-го (переднего) пояска резервуара;

r_{01} — внутренний радиус переходного тора 1-го (переднего) днища;

φ_1 — угол, вычисляемый по формуле

$$\varphi_1 = \arccos\frac{r_{n1} - r_{01}}{R_{c1} - r_{01}}. \quad (Д.63)$$

Параметр K_1 вычисляют по формуле

$$K_1 = \frac{\dfrac{A_1 \cdot r_{n1}}{4B_1 \cdot f_{01}}\left(1 - \sqrt{\dfrac{A_1^2 - 4B_1^2}{A_1^2}}\right) \cdot \left[1 - \dfrac{A_1^2}{12 \cdot B_1^2}\left(2 - 2\sqrt{\dfrac{A_1^2 - 8B_1^2}{A_1^2}} - \dfrac{4B_1^2}{A_1^2}\right)\right]}{1 - \dfrac{A_1 \cdot r_{n1}}{4B_1 \cdot f_{01}}\left(1 - \sqrt{\dfrac{A_1^2 - 4B_1^2}{A_1^2}}\right) \cdot \left[1 - \dfrac{A_1^2}{12 \cdot B_1^2}\left(2 - 2\sqrt{\dfrac{A_1^2 - 8B_1^2}{A_1^2}} - \dfrac{4B_1^2}{A_1^2}\right)\right]}, \quad (Д.64)$$

где A_1, B_1 — параметры, вычисляемые по формулам:

$$A_1 = r_{n1}^2 + f_{01}^2 - 2 \cdot r_{n1} \cdot r_{01};$$

$$B_1 = r_{n1}(f_{01} - r_{01}),$$

где f_{01} — внутренняя выпуклость (высота) 1-го днища.

Величину $J_3(z_0)$ вычисляют по формуле

$$J_3(z_0) = \frac{\arccos(1-2z_0)}{\pi} - \frac{11 \cdot r_{n1}^2 \cdot f_{1c} \cdot \sin 2\arccos(1-2z_0)}{4\pi\left(3r_{n1}^2 \cdot f_{1c} + f_{1c}^3\right)} + \frac{5 \cdot r_{n1}^4 \cdot f_{1c} \cdot \sin 2\arccos(1-2z_0)}{4\pi\left(r_{n1}^2 + f_{1c}^2\right)\left(3r_{n1}^2 \cdot f_{1c} + f_{1c}^3\right)} + \\ + \frac{4 \cdot r_{n1}^6 \cdot f_{1c} \cdot \sin 2\arccos(1-2z_0)}{15\pi\left(r_{n1}^2 + f_{1c}^2\right)\left(3r_{n1}^2 \cdot f_{1c} + f_{1c}^3\right)} + \frac{r_{n1}^4 \cdot f_{1c} \cdot \sqrt{\left(z_0 - z_0^2\right)} \cdot (1-2z_0)^3}{\pi\left(r_{n1}^2 + f_{1c}^2\right)\left(3r_{n1}^2 \cdot f_{1c} + f_{1c}^3\right)} + \frac{r_{n1}^6 \cdot f_{1c} \cdot \sqrt{\left(z_0 - z_0^2\right)} \cdot (1-2z_0)^3}{15\pi\left(r_{n1}^2 + f_{1c}^2\right)\left(3r_{n1}^2 \cdot f_{1c} + f_{1c}^3\right)} + \\ + \frac{r_{n1}^6 \cdot f_{1c}^3 \cdot 2\sqrt{\left(z_0 - z_0^2\right)} \cdot (1-2z_0)^5}{15\pi\left(r_{n1}^2 + f_{1c}^2\right)\left(3r_{n1}^2 \cdot f_{1c} + f_{1c}^3\right)}, \quad (Д.65)$$

где z_0 — параметр, вычисляемый по формуле

$$z_0 = \frac{H_0^*}{D_{n1}}, \quad (Д.66)$$

где H_0^* — уровень жидкости, вычисляемый по формуле (Д.47);

$D_{п1}$ — внутренний диаметр 1-го (переднего) пояска резервуара, вычисляемый по формуле

$$D_{п1} = 2 \cdot r_{п1}. \qquad (Д.67)$$

Величины $f_{с1}$ и f_{01} вычисляют по формулам:

$$f_{с1} = \frac{R_{с1}\left(R_{с1} - r_{01} - \sqrt{R_{с1}^2 - r_{п1}^2 - 2R_{с1} \cdot r_{01} + 2r_{п1} \cdot r_{01}}\right)}{R_{с1} - r_{01}}; \qquad (Д.68)$$

$$f_{01} = R_{01}^2 - \sqrt{R_{с1}^2 - r_{п1}^2 - 2R_{с1} \cdot r_{01} + 2r_{01} \cdot r_{п1}}. \qquad (Д.69)$$

Вместимость торовой части днища $V_{т1}$, входящей в зависимость по формуле (Д.59), вычисляют по формуле

$$V_{т1} = \frac{\pi \cdot J(\varphi_1)}{10^9} \cdot K_1 \cdot J_4(z_0), \qquad (Д.70)$$

где $J(\varphi_1)$ — величина, вычисляемая по формуле (Д.61);

K_1 — параметр, вычисляемый по формуле (Д.64);

$J_4(z_0)$ — величина, вычисляемая по формуле

$$J_4(z_0) = \arccos(1 - 2z_0) - 2(1 - z_0) \cdot \sqrt{z_0 - z_0^2}. \qquad (Д.71)$$

Д.4.1.6 Вместимость резервуара $V(y, z)$ при уровне H выше исходного уровня $H_и$ вычисляют по формуле

$$V(y, z) = V_ц(y, z) + V_{д1}(z) + V_{д2}(y), \qquad (Д.72)$$

где $V_ц(y, z)$ — вместимость цилиндрической части резервуара выше исходного уровня;

$V_{д1}(z)$, $V_{д2}(y)$ — вместимости переднего и заднего днищ выше исходного уровня.

Д.4.1.7 Вместимость цилиндрической части резервуара $V_ц(y, z)$ при уровне H выше исходного уровня вычисляют по формуле[1)]

$$V_ц(z, y) = \frac{1}{8 \cdot 10^9 \cdot \eta}\left\{\begin{array}{l}\sum\limits_{i=1}^{m} D_i^3\left[\left(\sin\beta_i - \frac{\sin\beta_i{}^3}{3} - \beta_i\cos\beta_i\right) - \left(\sin\alpha_i - \frac{\sin^3\alpha_i}{3} - \alpha_i\cos\alpha_i\right)\right] + D_{п1}^3\left[\left(\sin\beta - \frac{\sin\beta^3}{3} - \beta\cos\beta\right) - \left(\sin\alpha_{п1} - \frac{\sin^3\alpha_{п1}}{3} - \alpha_{п1}\cos\alpha_{п1}\right)\right] - \\ -D_{п2}^3\left[\left(\sin\beta_{п2} - \frac{\sin\beta_{п2}{}^3}{3} - \alpha_{п1}\cos\beta_{п2}\right) - \left(\sin\alpha - \frac{\sin^3\alpha}{3} - \alpha\cos\alpha\right)\right]\end{array}\right\} - V_{вд}, \qquad (Д.73)$$

где $\beta_i = \arccos(1 - 2z_i)$; $\alpha_i = \arccos(1 - 2y_i)$;

$\beta = \arccos(1 - 2z)$; $\alpha = \arccos(1 - 2y)$;

$\alpha_{п1} = \arccos(1 - 2y_{п1})$; $\beta_{п2} = \arccos(1 - 2z_{п2})$;

$$y_i = \frac{h_i}{D_i}; \quad z_i = \frac{H_i}{D_i}; \quad y_{п1} = \frac{h_{п1}}{D_i}; \quad y = \frac{h_0}{D_{п2}}; \quad z_{п2} = \frac{H_{п2}}{D_{п2}}.$$

Величины $h_{п1}$, H_0, h_i, H_i, h_0, $H_{п2}$ вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} h_{п1} &= (H - H_и) \cdot \sqrt{1 + \eta^2} + \eta(L - L_{п1}) + (D_i - D_k) \cdot 0{,}5; \\ H_0 &= (H - H_и) \cdot \sqrt{1 + \eta^2} + \eta L + (D_i - D_k) \cdot 0{,}5 - \delta_п; \\ h_i &= (H - H_и) \cdot \sqrt{1 + \eta^2} + \eta\left[(L - L_{п1}) - \sum_{j=i}^{j} l_j\right] + (D_i - D_k) \cdot 0{,}5; \\ H_i &= (H - H_и) \cdot \sqrt{1 + \eta^2} + \eta\left[(L - L_{п1}) - \sum_{j=i}^{j-1} l_j\right] + (D_i - D_k) \cdot 0{,}5; \end{aligned} \qquad (Д.74)$$

[1)] Величины в квадратных скобках вычисляют с точностью до одиннадцатого знака после запятой.

$$h_0 = (H - H_и)\cdot\sqrt{1+\eta^2} + (D_m - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_п;$$
$$H_{п2} = (H - H_и)\cdot\sqrt{1+\eta^2} + \eta l_{п2} + (D_m - D_k)\cdot 0{,}5 - \delta_п, \quad (Д.75)$$

где $l_{п2}$ — глубина заложения заднего днища.

Д.4.1.8 Вместимость днищ в пределах исходного уровня $V_{с1}(z)$, $V_{с2}(y)$, $V_{э1}(z)$, $V_{э2}(y)$, $V_{к1}(z)$, $V_{к2}(y)$, $V_{ук1}(z)$, $V_{ук2}(y)$, $V_{тс1}(z)$, $V_{тс2}(y)$ вычисляют по формулам:

а) для сферической формы

$$V_{с1} = \frac{1}{10^9}\left[\frac{D_{п1}{}^2\cdot f_1}{8} + \frac{f_1^3}{6}\right]\cdot\arccos(1-2z); \quad (Д.76)$$

$$V_{с2} = \frac{1}{10}\left[\frac{D_{п2}{}^2\cdot f_2}{8} + \frac{f_2^3}{6}\right]\cdot\arccos(1-2y); \quad (Д.77)$$

б) для эллиптической формы

$$V_{э1} = \frac{\pi\cdot D_{п1}{}^2\cdot f_1}{8\cdot 10^9}\cdot J_1(z); \quad (Д.78)$$

$$V_{э2} = \frac{\pi\cdot D_{п2}{}^2\cdot f_1}{8\cdot 10^9}\cdot J_1(y). \quad (Д.79)$$

в) для конической формы

$$V_{к1} = \frac{D_{п1}{}^2\cdot f_1}{12\cdot 10^9}\cdot J_2(z); \quad (Д.80)$$

$$V_{к2} = \frac{D_{п2}{}^2\cdot f_2}{12\cdot 10^9}\cdot J_2(y). \quad (Д.81)$$

Величины $J_2(z)$ и $J_2(y)$ вычисляют по формуле (Д.56), заменив в ней: z_0 на z и z_0 на y соответственно.

г) для усеченно-конической формы

$$V_{ук1} = \frac{D_{п1}^2\cdot f_1}{12\cdot 10^9}\left[J_2'(z) - \frac{\mu_1}{1-\mu_1}\cdot J(z_k)\right]; \quad (Д.82)$$

$$V_{ук2} = \frac{D_{п2}^2}{12\cdot 10^9}\left[J_2(y) - \frac{\mu_2}{1-\mu_2}\cdot J(y_k)\right]; \quad (Д.83)$$

где f_1, f_2 — высоты (выпуклости) днищ.

Значения H_0, h_0 определяют по формулам (Д.74), (Д.75).

$$z_k = \frac{H_1^*}{d_1}; \quad H_1^* = H_0 - \frac{1}{2}(D_m - d_1); \quad y_k = \frac{h_1^*}{d_2};$$
$$h_1^* = h_0 - \frac{1}{2}(D_{п2} - d_2); \quad \mu_1 = \frac{d_1}{D_{п1}}; \quad \mu_2 = \frac{d_2}{D_{п2}},$$

где d_1, d_2 — малые диаметры 1-го (переднего) и 2-го (заднего) усеченно-конических днищ соответственно.

д) для торо-сферического днища

$$V_{с1}' = \frac{\pi\cdot J(\varphi_1)}{10^9}\cdot K_1\cdot J_3(z); \quad (Д.84)$$

$$V_{с2}' = \frac{\pi\cdot J(\varphi_2)}{10^9}\cdot K_2\cdot J_3(y); \quad (Д.85)$$

$$V_{т1} = \frac{\pi\cdot J(\varphi_1)}{10^9}\cdot K_1\cdot J_4(z); \quad (Д.86)$$

$$V_{т2} = \frac{\pi\cdot J(\varphi_2)}{10^9}\cdot K_2\cdot J_4(y). \quad (Д.87)$$

В формулах (Д.84) и (Д.86) величину $J(\varphi_1)$ и параметр K_1 вычисляют по формулам (Д.61) и (Д.64) соответственно.

Величину $J(\varphi_2)$ вычисляют по формуле

$$J(\varphi_2)=\frac{R_{c2}^3}{3}(1-\cos\varphi_2)^2\cdot(2+\sin\varphi_2)+r_{02}\left[r_{n2}-r_{02}(1-\cos\varphi_2)\right]^2+\sin\varphi_2+$$
$$+(r_{02})^2\frac{2\varphi_2-\sin 2\varphi_2}{2}\left[r_{n2}-r_{02}\left(\frac{6\varphi_2-3\sin 2\varphi_2-4\sin^3\varphi_2}{6\varphi_2-3\sin 2\varphi_2}\right)\right], \quad (Д.88)$$

где R_{c2} — внутренний радиус сферического сегмента днища, вычисляемый по формуле

$$R_{c2}=\frac{f_{02}^2+r_{n2}^2-2r_{n2}\cdot r_{02}}{2(f_{02}-r_{02})}, \quad (Д.89)$$

где f_{02} — внутренняя стрела (высота) выпуклости 2-го (заднего) днища;
r_{n2} — внутренний радиус 2-го (заднего) пояска резервуара;
r_{02} — внутренний радиус переходного тора 2-го (заднего) днища;
φ_2 — угол, вычисляемый по формуле

$$\varphi_2=\arccos\frac{r_{n2}-r_{02}}{R_{c2}-r_{02}}. \quad (Д.90)$$

Величины f_{c2} и f_{02} вычисляют по формулам:

$$f_{c2}=\frac{R_{c2}\left(R_{c2}-r_{02}-\sqrt{R_{c2}^2-r_{n2}^2-2R_{c2}\cdot r_{02}+2r_{n2}\cdot r_{02}}\right)}{R_{c1}-r_{01}}; \quad (Д.91)$$

$$f_{02}=R_{02}^2-\sqrt{R_{c2}^2-r_{n2}^2-2R_{c2}\cdot r_{02}+2r_{02}\cdot r_{n2}}. \quad (Д.92)$$

Параметр K_2 вычисляют по формуле

$$K_2=\frac{\frac{A_2\cdot r_{n2}}{4B_2\cdot f_{02}}\left(1-\sqrt{\frac{A_2^2-4B_2^2}{A_2^2}}\right)\cdot\left[1-\frac{A_2^2}{12\cdot B_2^2}\left(2-2\sqrt{\frac{A_2^2-8B_2^2}{A_2^2}}-\frac{4B_2^2}{A_2^2}\right)\right]}{1-\frac{A_2\cdot r_{n2}}{4B_2\cdot f_{02}}\left(1-\sqrt{\frac{A_2^2-4B_2^2}{A_2^2}}\right)\cdot\left[1-\frac{A_2^2}{12\cdot B_2^2}\left(2-2\sqrt{\frac{A_2^2-8B_2^2}{A_2^2}}-\frac{4B_2^2}{A_2^2}\right)\right]}, \quad (Д.93)$$

где A_2, B_2 — параметры, вычисляемые по формулам:

$$A_2=r_{n2}^2+f_{02}^2-2\cdot r_{n2}\cdot r_{02};$$
$$B_2=r_{n2}(f_{02}-r_{02}),$$

где f_{02} — внутренняя выпуклость (высота) 2-го днища.

Величину $J_3(z)$ вычисляют по формуле

$$J_3(z)=\left[\begin{array}{l}\frac{\arccos(1-2z)}{\pi}-\frac{11\cdot r_{n1}^2\cdot f_{c1}\cdot(1-2z)\sqrt{z-z^2}}{4\pi\left(3r_{n1}^2\cdot f_{c1}+f_{c1}^3\right)}+\frac{5\cdot r_{n1}^4\cdot f_{c1}(1-2z)\sqrt{z-z^2}}{4\pi\left(r_{n1}^2+f_{c1}^2\right)\left(3r_{n1}^2\cdot f_{c1}+f_{c1}^3\right)}+\\ +\frac{4\cdot r_{n1}^6\cdot f_{c1}\cdot(1-2z)\sqrt{z-z^2}}{15\pi\left(r_{n1}^2+f_{c1}^2\right)\left(3r_{n1}^2\cdot f_{c1}+f_{c1}^3\right)}+\frac{5\cdot r_{n1}^4\cdot f_{c1}\cdot(1-2z)\sqrt{z-z^2}}{\pi\left(r_{n1}^2+f_{c1}^2\right)\left(3r_{n1}^2\cdot f_{c1}+f_{c1}^3\right)}+\frac{4r_{n1}^6\cdot f_{c1}^3\cdot(1-2z)\cdot\sqrt{z-z^2}}{15\pi\left(r_{n1}^2+f_{c1}^2\right)\left(3r_{n1}^2\cdot f_{c1}+f_{c1}^3\right)}+\\ +\frac{r_{n1}^4\cdot f_{c1}\cdot(1-2z)^3\sqrt{z-z^2}}{\pi\left(r_{n1}^2+f_{c1}^2\right)\left(3r_{n1}^2\cdot f_{c1}+f_{c1}^3\right)}+\frac{7r_{n1}^6\cdot f_{c1}^3\cdot(1-2z)^3\cdot 2\sqrt{z-z^2}}{15\pi\left(r_{n1}^2+f_{c1}^2\right)\left(3r_{n1}^2\cdot f_{c1}+f_{c1}^3\right)}+\frac{r_{n1}^6\cdot f_{c1}^3\cdot 2\sqrt{\left(z-z^2\right)}\cdot(1-2z)^5}{15\pi\left(r_{n1}^2+f_{c1}^2\right)\left(3r_{n1}^2\cdot f_{c1}+f_{c1}^3\right)}\end{array}\right], \quad (Д.94)$$

где r_{n1} — внутренний радиус 1-го (переднего) пояска резервуара;
f_{c1} — внутренняя стрела (высота) выпуклости сферического сегмента;
z — параметр, вычисляемый по формуле

$$z=\frac{H_0}{D_{n1}}, \quad (Д.95)$$

где H_0 — уровень жидкости, вычисляемый по формуле (Д.74);
D_{n1} — внутренний диаметр 1-го (переднего) пояска резервуара, вычисляемый по формуле (Д.67).

Величину $J_3(y)$ вычисляют по формуле (Д.94), заменяя в ней:

- внутренний радиус 1-го (переднего) пояска $r_{п1}$ на внутренний радиус 2-го пояска $r_{п2}$;
- внутреннюю стрелу (высоту) выпуклости сферического сегмента 1-го (переднего) днища $f_{с1}$, вычисляемую по формуле (Д.68) на внутреннюю стрелу (высоту) выпуклости сферического сегмента 2-го (заднего) днища $f_{с2}$, вычисляемую по формуле (Д.91);
- параметр z на параметр y, вычисляемый по формуле

$$y = \frac{h_0}{D_{п2}}, \tag{Д.96}$$

где h_0 — уровень жидкости, вычисляемый по формуле (Д.75);

$D_{п2}$ — внутренний диаметр 2-го (заднего) пояска резервуара, вычисляемый по формуле

$$D_{п2} = 2 \cdot r_{п2}. \tag{Д.97}$$

Величину $J_4(z)$ вычисляют по формуле

$$J_4(z) = (1-2z)\cdot\left(1-2\sqrt{z-z^2}\right), \tag{Д.98}$$

где z — параметр, вычисляемый по формуле (Д.95).

Величину $J_4(y)$ вычисляют по формуле

$$J_4(y) = (1-2y)\cdot\left(1-2\sqrt{y-y^2}\right), \tag{Д.99}$$

где y — параметр, вычисляемый по формуле (Д.96).

Д.4.1.9 Величины $J(z_k^*)$, $J(z_k)$, $J(y_k)$ в выражениях (Д.57), (Д.82), (Д.83) вычисляют по формуле (Д.56), заменив в ней соответственно: z_0 на z_k^*, z_0 на z_k и z_0 на y_k при выполнении условий:

$$0{,}5(D_{п1} - d_1) < H_0 < 0{,}5(D_{п1} + d_1);$$

$$0{,}5(D_{п2} - d_2) < h_0 < 0{,}5(D_{п2} + d_2).$$

Д.4.1.10 Вместимость резервуара при его калибровке и отсутствии измерительной трубы определяют до предельного уровня $H_{пр}$, вычисляемого по формуле

$$H_{пр} = (D_k - t)\sqrt{1+\eta^2}, \tag{Д.100}$$

если глубина заложения горловины t удовлетворяет условию

$$t \geq (L - l_3)\cdot\eta. \tag{Д.101}$$

Если $t < (L - L_3)\cdot\eta$, то вместимость резервуара при его калибровке и отсутствии измерительной трубы определяют до предельного уровня $H_{пр}$, вычисляемого по формуле

$$H_{пр} = \frac{D_1 - 0{,}5(D_1 - D_k) - \delta_п}{\sqrt{1+\eta^2}} - \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}\left(L - l_3 - H_0\frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}\right). \tag{Д.102}$$

Результаты вычислений $H_{пр}$ вносят в журнал, форма которого приведена в приложении И.

Д.4.2 Вычисление вместимости ненаклоненного резервуара

Д.4.2.1 Резервуар считают ненаклоненным, если выполняется условие

$$0 \leq \eta \leq 0{,}0005. \tag{Д.103}$$

Д.4.2.2 Вместимость резервуара V, м^3, соответствующую уровню H, вычисляют по формуле

$$V = V_ц + V_{д1} + V_{д2} - V_{ВД}. \tag{Д.104}$$

где $V_ц$ — вместимость цилиндрической части резервуара, м^3;

$V_{д1}$, $V_{д2}$ — вместимости переднего и заднего днищ резервуара, м^3;

$V_{ВД}$ — объем внутренних деталей, м^3.

Д.4.2.3 Вместимость цилиндрической части резервуара $V_ц$, м^3, вычисляют по формуле

$$V_ц = \frac{1}{4\cdot10^9}\sum_{i=1}^{m} D_i^2 \cdot l_i \left\{\arccos\left(1-2\omega^*\right) - \frac{1}{2}\sin\left[\arccos\left(1-2\omega^*\right)\right]\right\} + V_{п1} + V_{п2}\ , \tag{Д.105}$$

где D_i, l_i — диаметр и длина i-го пояса, мм;

$V_{п1}$, $V_{п2}$ — вместимости переднего и заднего поясков, м^3;

m — число поясов;

ω^* — параметр, вычисляемый по формуле

$$\omega^{*} = \frac{H + 0{,}5(D_j - D_k)}{D_j},$$

где D_k — диаметр k-го пояса с горловиной резервуара или измерительным люком;

H — уровень жидкости в резервуаре.

Д.4.2.4 Вместимости поясков $V_{п1}$, $V_{п2}$ вычисляют по формулам:

$$V_{п1} = \frac{1}{4 \cdot 10^9} D_{п1}^2 \cdot l_{п1} \cdot \left\{ \arccos(1 - 2\omega_1) - \frac{1}{2} \sin\left[\arccos(1 - 2\omega_1) \right] \right\}; \quad (Д.106)$$

$$V_{п2} = \frac{1}{4 \cdot 10^9} D_{п2}^2 \cdot l_{п2} \cdot \left\{ \arccos(1 - 2\omega_2) - \frac{1}{2} \sin\left[\arccos(1 - 2\omega_2) \right] \right\}, \quad (Д.107)$$

где $l_{п1}$, $l_{п2}$ — вместимости заложения днищ (переднего и заднего поясков);

ω_1, ω_2 — параметры, вычисляемые по формулам:

$$\omega_1 = \frac{H + 0{,}5(D_1 - D_k)}{D_{п1}}; \quad (Д.108)$$

$$\omega_2 = \frac{H + 0{,}5(D_m - D_k)}{D_{п2}}, \quad (Д.109)$$

где D_1, D_m — диаметры 1-го и m-го (последнего) поясов резервуара, мм;

$D_{п1}$, $D_{п2}$ — диаметры переднего и заднего поясков, вычисляемые по формулам (Д.17), (Д.18).

Д.4.2.5 Вместимости днищ $V_{д1}$, $V_{д2}$ вычисляют по формулам (Д.76)—(Д.87), заменив z на x_1, y на x_2.

Д.4.2.6 Вместимость резервуара при его калибровке определяют до предельного уровня $H_{пр}$, вычисляемого по формуле

$$H_{пр} = D - t, \quad (Д.110)$$

где D — внутренний диаметр резервуара, мм;

t — глубина заложения горловины, мм.

Д.4.3 Вычисление объемов внутренних деталей, приходящихся на 1 см уровня налива

Д.4.3.1 Объем вертикальной цилиндрической (прямоугольной) внутренней детали, приходящийся на 1 см уровня налива (далее — объем на 1 см уровня налива), v_1, м^3/см, вычисляют по формуле

$$v_1 = S_{ВД} \cdot 10^2, \quad (Д.111)$$

где $S_{ВД}$ — площадь поперечного сечения детали цилиндрической или прямоугольной (квадратной) формы, м^2.

Д.4.3.2 Объем поперечного силового набора (шпангоута) на 1 см уровня налива v_2, м^3/см, вычисляют по формуле

$$v_2 = \frac{\pi S_ш (D - b_ш)}{D} \cdot 10^2, \quad (Д.112)$$

где $S_ш$ — площадь поперечного сечения (профиля) шпангоута, м^2;

D — диаметр резервуара, вычисляемый по формуле (Д.19), мм;

$b_ш$ — высота профиля шпангоута, мм.

Д.4.3.3 Объем горизонтальной цилиндрической внутренней детали (теплообменника, патрубка и др.) на 1 см уровня налива v_3, м^3/см, вычисляют по формуле

$$v_3 = \frac{d_{ВД}^2 \cdot L_{ВД}}{4 \cdot 10^9} \cdot \left[(T_{j+1} - T_j) + \frac{1}{2} (\sin 2T_{j+1} - \sin 2T_j) \right], \quad (Д.113)$$

где $T_{j+1} = \arccos\left(1 - 2\dfrac{h_{j+1}}{d_{ВД}}\right)$; $T_j = \arccos\left(1 - 2\dfrac{h_j}{d_{ВД}}\right)$;

$d_{ВД}$ — наружный диаметр внутренней детали, мм;

$L_{ВД}$ — длина осевой линии внутренней детали, мм;

h_{j+1}, h_j — уровни налива, отсчитываемые с высоты расположения внутренней детали в пределах наружного ее диаметра и соответствующие условию: $h_{j+1} - h_j = 10$ мм.

Д.4.3.4 Результаты вычислений по формулам (Д.111)—(Д.113) вносят в журнал, форма которого приведена в приложении И.

Д.5 Вычисление вместимости резервуара, приведенной к стандартным температурам 15 °С или 20 °С и с учетом избыточного давления в резервуаре

Д.5.1 Поправку на температурное расширение стенок резервуара к значению вместимости резервуара V_t, вычисленному по формулам (Д.72) или (Д.104) вычисляют по формуле

$$V_t = V \cdot K_t, \qquad (Д.114)$$

где K_t — поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры стенки пояса на вместимость, 1/°С, вычисляемый по формулам:

а) при измерении радиуса и длины пояса с применением тахеометра и приведением значений вместимости к стандартной температуре 20 °С величину K_t' вычисляют по формуле

$$K_t' = [1 + 3\alpha_p(T_p - 20)]^{-1}; \qquad (Д.115)$$

б) при измерении радиуса и длины пояса с применением тахеометра и приведением значений вместимости к стандартной температуре 15 °С величину K_t^* вычисляют по формуле

$$K_t^* = [1 + 3\alpha_p(T_p - 15)]^{-1}; \qquad (Д.116)$$

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

T_p — температура стенки резервуара, °С;

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

Д.5.2 В случае калибровки резервуара, предназначенного для хранения продукта с избыточным давлением, вместимость резервуара $V_{t,p}$, приведенную к стандартной температуре, равной 20 °С (15 °С), с учетом избыточного давления вычисляют по формуле

$$V_{t,p} = V \cdot K_t \cdot K_p, \qquad (Д.117)$$

где K_p — коэффициент, учитывающий влияние избыточного давления на вместимость резервуара.

Коэффициент K_p вычисляют по формуле

$$K_p = 1 + 2{,}5 \cdot \frac{P \cdot R_i}{E \cdot \delta}, \qquad (Д.118)$$

где P — избыточное давление в резервуаре, Па;

R_i — внутренний радиус i-го пояса, мм;

E — модуль упругости материала стенки пояса, Па (для стали $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ Па);

δ — толщина стенки пояса, мм.

Примечание — В формуле (Д.117) учтено влияние избыточного давления на радиус и длину пояса резервуара.

Приложение Е
(обязательное)

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

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

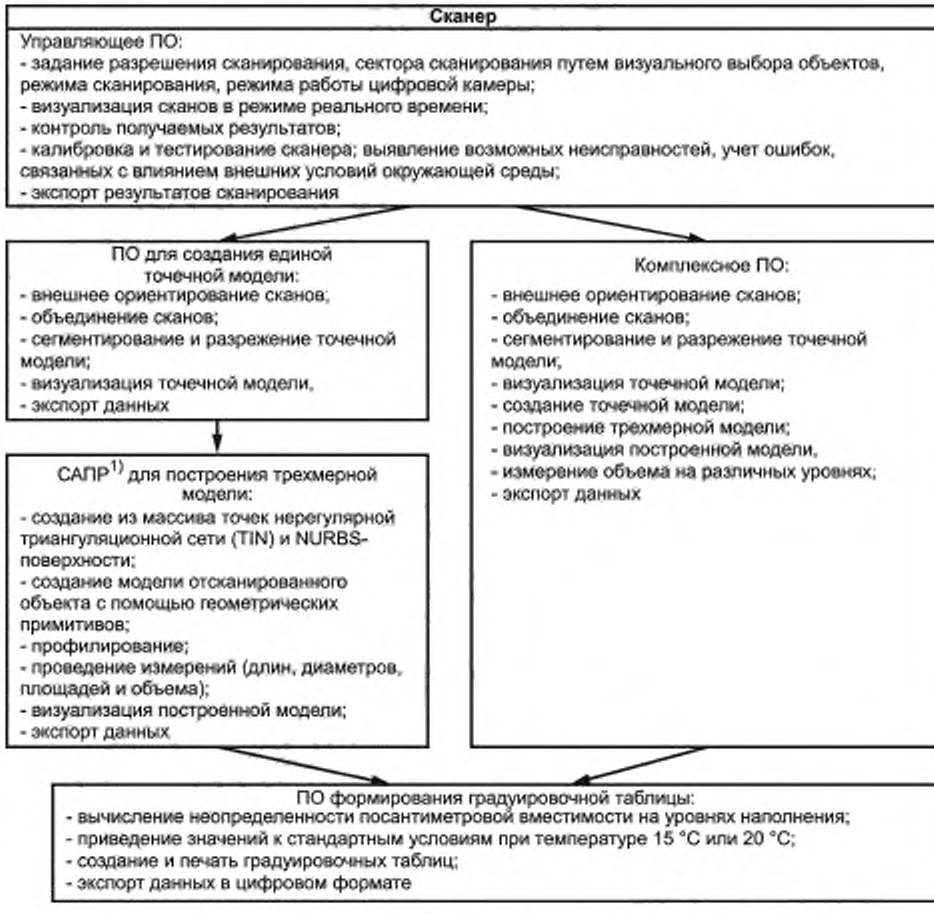
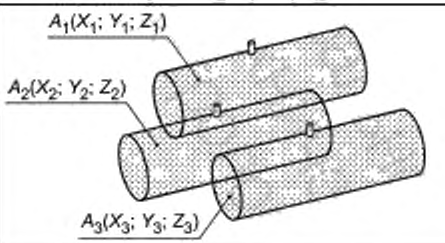
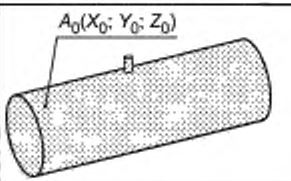
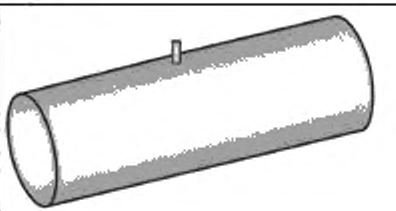


Рисунок Е.1 — Алгоритм обработки результатов измерений[1]

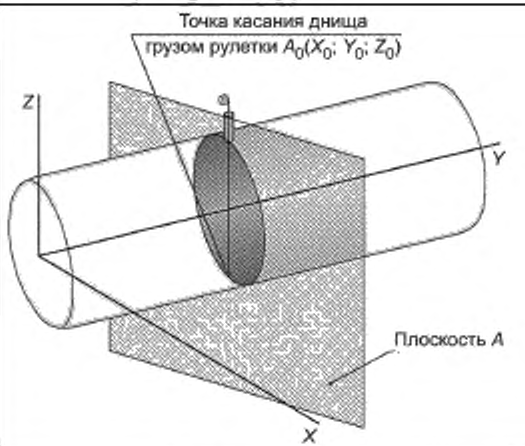
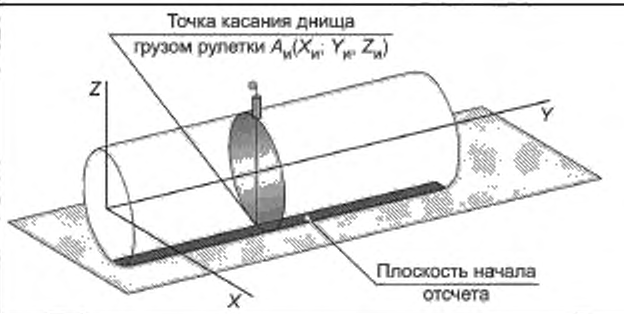
Е.2 Основные операции обработки результатов при построении трехмерной модели САПР с применением сканера приведены в таблице Е.1.

1) Система автоматизированного проектирования.

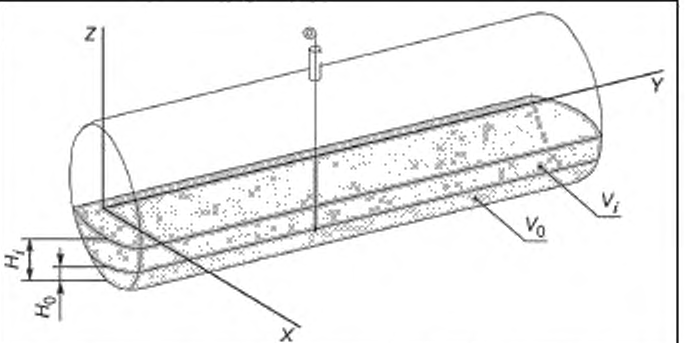
Таблица Е.1

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

Продолжение таблицы Е.1

Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 4; - построение плоскости А, проходящей через точку касания стенки резервуара грузом рулетки по нормали к продольной оси резервуара, - определение координаты точки касания стенки грузом рулетки $A_и(X_и; Y_и; Z_и)$	ПО построения трехмерной модели/3D-моделирование	
Этап 5 Построение горизонтальной плоскости начала отсчета, проходящей через точку касания стенки резервуара грузом рулетки	ПО построения трехмерной модели/3D-моделирование	

Окончание таблицы Е.1

Наименование этапа	Объект реализации/режим/параметры	Результат
Этап 6: - построение горизонтальных секущих плоскостей с шагом 10 мм (1 см) начиная от плоскости начала отсчета; - вычисления объемов, ограниченных нижней образующей резервуара и секущими плоскостями	ПО построения трехмерной модели/3D моделирование/секущая плоскость/вычисление объема	
Этап 7 Вычисление неопределенности вместимости на уровнях наполнения	Формула (И.39)	Значения неопределенности посантиметровой вместимости резервуара
Этап 8 Приведение посантиметровой вместимости к стандартной температуре 20 °С или 15 °С	Формулы (Д.115) или (Д.116) соответственно	Значение поправки от теплового расширения стенок к вместимости при стандартной температуре
Этап 9 (для резервуаров под избыточным давлением) Введение поправок к значениям вместимости за счет деформации стенок от избыточного давления	Формула (Д.117)	Приведенное значение посантиметровой вместимости к стандартной температуре 15 °С или 20 °С с учетом избыточного давления
Этап 10 Формирование градуировочной таблицы и протокола измерений	ПО формирования градуировочной таблицы	Оформленная градуировочная таблица с протоколом измерений

Приложение Ж
(обязательное)

Вычисление неопределенности измерений вместимости резервуара при применении тахеометра

Ж.1 Оценка неопределенности измерений вместимости резервуара при применении тахеометра

Ж.1.1 Конструктивные особенности горизонтальных стальных резервуаров

Резервуар как мера вместимости включает в себя следующее:

а) цилиндрическую часть, состоящую из поясов, соединенных между собой;

б) два днища: первое (переднее) и второе (заднее). Нумерацию поясов осуществляют с опущенного в результате наклона конца резервуара;

в) внутренние детали, влияющие на вместимость резервуара.

Как следует из рисунка А.23, внутренние диаметры поясов отличаются на толщину стенок поясов. Поэтому неопределенность измерений вместимости резервуара оценивают по двум группам поясов.

Ж.1.2 Вычисление вместимости поясов резервуара

Ж.1.2.1 При проведении калибровки резервуара методом внутренних измерений вместимость i-го пояса резервуара V_i, м^3, вычисляют по формуле[1)]

$$V_i = V_{цi} - V_{ВДi}^{2)}, \qquad (Ж.1)$$

где $V_{цi}$ — вместимость цилиндрической части пояса, м^3;

$V_{ВДi}$ — объем внутренних деталей, находящихся в i-м поясе, м^3.

Ж.1.2.2 Вместимость цилиндрической части i-го пояса резервуара $V_{цi}$, приведенную к стандартной температуре, равной 20 °С (15 °С), вычисляют по формуле

$$V_{цi} = \pi R_i^2 \cdot L_i \cdot K_t \cdot 10^{-3}, \qquad (Ж.2)$$

где π = 3,1415926 (здесь и далее);

R_i — внутренний радиус пояса, мм;

L_i — длина пояса, мм;

K_t — поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры стенки пояса на вместимость, 1/°С, вычисляемый по формулам:

а) при измерении радиуса и длины пояса с применением тахеометра и приведением значений вместимости к стандартной температуре 20 °С величину K_t^* вычисляют по формуле (Д.115);

б) при измерении радиуса и длины пояса с применением тахеометра и приведением значений вместимости к стандартной температуре 15 °С величину K_t^* вычисляют по формуле (Д.116).

В случае применения резервуара для хранения продукта с избыточным давлением, вместимость цилиндрической части i-го пояса резервуара $V_{цi}$, приведенную к стандартной температуре, равной 20 °С (15 °С), с учетом избыточного давления вычисляют по формуле

$$V_{цi} = \pi R_i^2 \cdot L_i \cdot K_t \cdot K_p \cdot 10^{-3}, \qquad (Ж.3)$$

где K_p — коэффициент, учитывающий влияние избыточного давления на вместимость резервуара.

Коэффициент K_p вычисляют по формуле

$$K_p = 1 + 2{,}5 \cdot \frac{P \cdot R_i}{E \cdot \delta}, \qquad (Ж.4)$$

где P — избыточное давление в резервуаре, Па;

R_i — внутренний радиус i-го пояса, мм;

E — модуль упругости материала стенки пояса, Па (для стали $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ Па);

δ — толщина стенки пояса, мм.

Примечание — В формуле (Ж.3) учтено влияние избыточного давления на радиус и длину пояса резервуара.

Ж.1.2.3 Внутренний радиус i-го пояса при измерениях, выполняемых по 10.3 j-го измерения R_{ij}, мм, вычисляют по формуле

[1)] Формулы, применяемые для оценки неопределенности определения вместимости, приведены в упрощенном виде в данном приложении.

[2)] Если объем внутренней детали увеличивает вместимость пояса, то знак «–» перед величиной $V_{ВДi}$ заменяют на знак «+».

$$R_{ij} = \sqrt{\frac{(x_{ij} - a)^2}{1 + \eta^2} + \frac{(y_{ij} - b)^2}{1 + \gamma^2}}, \qquad (Ж.5)$$

где x_{ij}, y_{ij} — координаты точки на внутренней поверхности стенки пояса в прямоугольной системе координат, мм;

a, b — координаты начала новой системы координат, начало которой совпадает с центром резервуара, мм;

η — степень наклона резервуара, вычисляемая по формуле (Д.1).

В дальнейшем для удобства в формуле (Ж.5) индекс «i» опускают и параметры η, γ из-за их несущественных влияний при решении данной задачи исключают из формулы.

Величины x_j, y_j вычисляют по формулам

$$x_j = l_j \cdot \sin \alpha_j; \qquad (Ж.6)$$

$$y_j = l_j \cdot \cos \alpha_j, \qquad (Ж.7)$$

где l_j — наклонное (линейное) расстояние до точки на внутренней поверхности стенки резервуара, мм;

α_j — вертикальный угол, град.

Ж.1.2.4 Формула (Ж.3) с учетом формулы (Ж.5) имеет вид

$$V_j' = \pi[(x_j - a)^2 + (y_j - b)^2] \cdot L_i \cdot K_t \cdot K_p \cdot 10^{-3}. \qquad (Ж.8)$$

Подставляя значения по формулам (Ж.6), (Ж.7) получаем

$$V_j' = \pi[(l_j \sin \alpha_j - a)^2 + (l_j \cos \alpha_j - b)^2] \cdot L_i \cdot K_t \cdot K_p \cdot 10^{-3}. \qquad (Ж.9)$$

В соответствии с формулой (Ж.9) неопределенность измерения величины V_j зависит от неопределенности измерений входящих величин: l_j, α_j, L_j....

Суммарную стандартную неопределенность измерений вместимости i-го пояса при j-м измерении U_{Bj}, %, вычисляют по формуле

$$U_{Bj} = \frac{100}{V_i}\sqrt{\left[\frac{\partial V_j}{\partial l_j}\right]^2 \cdot \left(\frac{U^{Tl}}{\sqrt{3} \cdot F}\right)^2 + \left[\frac{\partial V_j}{\partial \alpha_j}\right]^2 \cdot \left(\frac{U^{T\alpha}}{\sqrt{3} \cdot F}\right)^2 + \left(\frac{U^{Tl}}{\sqrt{3} \cdot L_i^2}\right)^2 + \left(\frac{3\alpha \cdot T_p \cdot U^t}{\sqrt{3} \cdot K_p}\right)^2}, \qquad (Ж.10)$$

где $\left[\frac{\partial V_j}{\partial l_j}\right]$, $\left[\frac{\partial V_j}{\partial \alpha_j}\right]$ — частные производные вместимости V_j по аргументам l и α;

U^{Tl}, $U^{T\alpha}$ — стандартные неопределенности измерений тахеометром наклонных линейных расстояний, в миллиметрах, и вертикального угла, в град, соответственно;

U^t — стандартная неопределенность при измерении температуры стенки пояса, °С;

F — параметр, вычисляемый по формуле

$$F = (l_j \sin \alpha_j - a)^2 + (l_j \cos \alpha_j - b)^2.$$

Величины $\left[\frac{\partial V_j}{\partial l_j}\right]$, $\left[\frac{\partial V_j}{\partial \alpha_j}\right]$ вычисляют по формулам

$$\left[\frac{\partial V_j}{\partial l_j}\right] = 2\pi(l_i - a\sin\alpha_i - b\cos\alpha_j); \quad \left[\frac{\partial V_j}{\partial \alpha_j}\right] = 2\pi \cdot \sin\alpha_j \cdot \cos\alpha_j (l_i - ab). \qquad (Ж.11)$$

Ж.1.2.5 Стандартную неопределенность измерения вместимости i-го пояса резервуара U_{Bi} вычисляют по формуле

$$U_{Bi} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} U_{Bj}, \qquad (Ж.12)$$

где j — число измерений в i-м поясе.

Ж.1.2.6 Стандартную неопределенность измерений вместимости резервуара U_B вычисляют по формуле

$$U_B = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} U_{Bi}, \qquad (Ж.13)$$

где n — число поясов резервуара.

Ж.1.2.7 Стандартную неопределенность вместимости резервуара $U(H)_i$ при уровне наполнения H вычисляют по формуле

$$U(H)_i = \frac{U_B \cdot V(H)}{V}, \qquad (Ж.14)$$

где $V(H)$ — вместимость резервуара на уровне наполнения H, вычисляемая по формулам (Д.72) или (Д.104), м^3;

V — вместимость резервуара при максимальном уровне наполнения, м^3.

Приложение И
(обязательное)

Оценка неопределенности вместимости резервуара при обработке результатов измерений программным обеспечением построения трехмерной модели (применение сканера)

И.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 И.1).

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

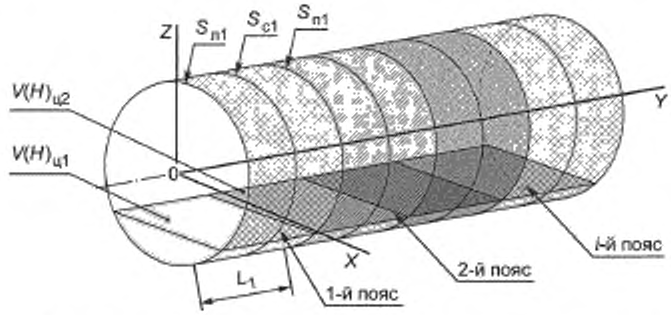


Рисунок И.1 — Схема измерений объема i-го пояса на уровне H

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

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

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

n — число поясов резервуара.

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

$$V(H)_{ц.i} = L_i \cdot \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{3} S(H)_{цi.k}, \qquad (И.2)$$

где L_i — длина i-го пояса, мм;

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

k — левое, среднее, правое сечения.

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

$$S(H)_{цi.k} = \frac{1}{2}\left(R_{i(n,c,n)}\right)^2 \cdot \left(\alpha_{(n,c,n)} - \sin\varphi\right), \qquad (И.3)$$

где $R_{i(n,c,n)}$ — радиус вписанной окружности i-го пояса в левом, среднем, правом сечениях, мм;

$\alpha_{(n,c,n)}$ — вертикальный угол между центром и плоскостью уровня, град.

Угол φ вычисляют по формуле

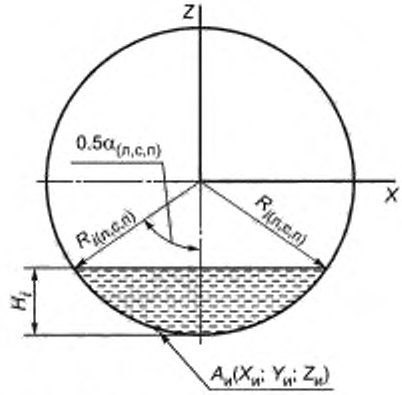
$$\varphi = 2\arccos(1 - z^*), \qquad (И.4)$$

где $z^* = \dfrac{H_j}{R_{i(n,c,n)}}$.

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

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

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



H_j — уровень жидкости в i-м поясе, $A_и(X_и; Y_и; Z_и)$ — координаты точки касания стенки грузом рулетки

Рисунок И.2 — Схема параметров площади i-го пояса $S(H)_{ц.i.k}$ на уровне H_j в левом, среднем, правом сечениях (л, с, п)

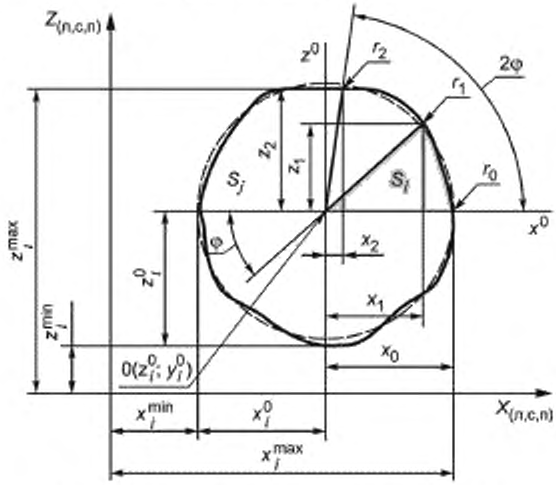


Рисунок И.3 — Схема параметров i-го сечения

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

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

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

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

И.4.2 Вычисляют координаты 12 радиусов по оси X.

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

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

$$r_0 = x_0 = x_{max} - x^0, \qquad (И.6)$$

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

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

Примечание — Индекс «i» опущен.

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

$$x_1 = r_0 \cdot \cos(\varphi), \quad (И.7)$$

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

φ — угол, значение которого принимают равным 30°.

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

$$x_2 = r_0 \cdot \cos(2\varphi). \quad (И.8)$$

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

$$x_i = r_0 \cdot \cos(i \cdot \varphi), \quad (И.9)$$

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

И.4.2.5 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 Z (z_0, z_1^i,...,z_{12}^i).

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

$$z_i = z_i^i - z^0, \quad (И.10)$$

где z^0 — значение координаты начала системы координат $0(z_i^0; y_i^0)$ на оси Z, вычисляемое по формуле (И.5), мм, соответственно.

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

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

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

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

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

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

Уточненное значение угла φ_i вычисляют по формуле

$$\varphi_i = \operatorname{arctg}\left(\frac{z_i}{x_i}\right). \quad (И.13)$$

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

Операции выполняют в следующей последовательности.

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

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

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

И.5.2 Координату нулевого радиуса при первом смещении $r_0{}^1$ на оси X вычисляют по формуле

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

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

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

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

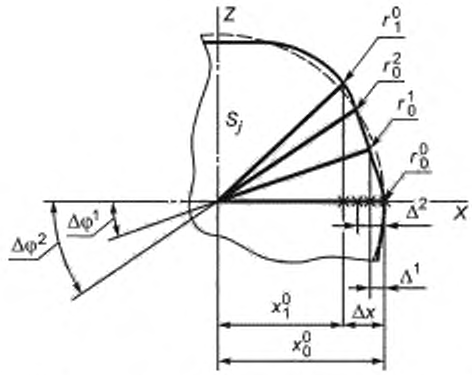


Рисунок И.4 — Схема смещений координат радиусов

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

$$z_0^1 = (z_0^1)' - z^0, \quad (И.16)$$

где $(z_0^1)'$ — значение координаты, соответствующее x_0^1, мм;

z^0 — значение координаты начала системы координат $0(z_i^0; x_i^0)$ на оси *Z*, вычисляемое по формуле (*И.5*), мм.

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

$$\Delta\varphi^1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{z_0^*}{x_0^1}\right). \quad (И.17)$$

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

$$x_1^1 = r_0^1 \cdot \cos(\Delta\varphi^1 + \varphi), \quad (И.18)$$

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

φ — угол, значение которого принимают равным 30°.

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

$$x_i^1 = r_0^1 \cdot \cos(\Delta\varphi^1 - i \cdot \varphi), \quad (И.19)$$

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

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

$$z_i^1 = (z_i^1)' - z^0. \quad (И.20)$$

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

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

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

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

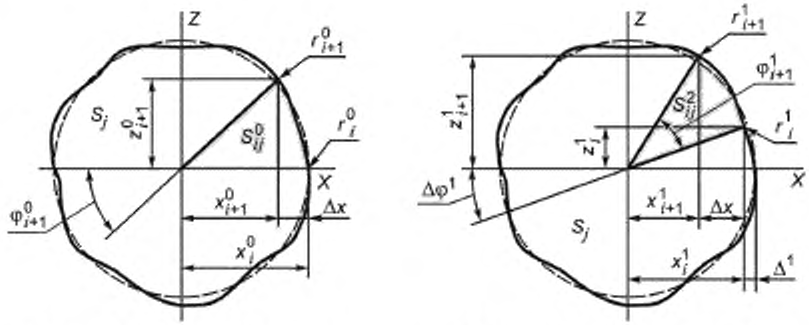
И.5.7 Площадь сечения S_j, м^2 (левое, среднее, правое) *j*-го пояса вычисляют по формуле

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

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

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

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



а – схема параметров *i*-го сектора при нулевом смещении

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

Рисунок И.5 — Схема параметров в *j*-м сечении

И.6 Стандартную неопределенность $u(S_{j(л,с,п)})_M$ площади сечения (левое, среднее, правое) *i*-го пояса, обусловленные методом построения сечения, вычисляют по формуле

$$u\left(S_{j(л,с\ п)}\right)_M = \sqrt{\frac{\sum_{m=0}^{2}\left(S_{m,j} - \bar{S}_j\right)^2}{6}}, \qquad (И.23)$$

где $\bar{S}_j$ — среднее арифметическое значение площади сечения *i*-го пояса, мм^6;

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

$S_{m,j}$ — площадь сечения (левое, среднее, правое) при нулевом, первом, втором смещениях координаты *i*-го сектора, мм^6, вычисляемая по формуле (И.22).

Стандартную неопределенность $u(S_i)_M$ площади сечения *i*-го пояса, обусловленную методом построения сечения, вычисляют по формуле

$$u(S_i)_M = \sqrt{\left[u(S_{iл})_M\right]^2 + \left[u(S_{ic})_M\right]^2 + \left[u(S_{iп})_M\right]^2}, \qquad (И.24)$$

где $u(S_{iл})_M$, $u(S_{ic})_M$, $u(S_{iп})_M$ — стандартные неопределенности площадей левого, среднего, правого сечений *i*-го пояса, вычисляемые по формуле (И.23).

И.6.1 Координаты *i*-го радиуса-вектора *r* в сечении вычисляют по формуле

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}, \qquad (И.25)$$

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

Координаты *x*, *z* вычисляют по формулам:

$$x = r \cdot \cos\varphi;$$

$$z = r \cdot \sin\varphi; \qquad (И.26)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{z}{x}\right). \qquad (И.27)$$

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

$$u(x_r) = \frac{u(l)\cdot x}{r};$$

$$u\left(x_\varphi\right) = r\cdot(-\sin\varphi)\cdot u(\varphi); \qquad (И.28)$$

$$u(x) = \sqrt{\left[u(x_r)\right]^2 + \left[u\left(x_\varphi\right)\right]^2}; \qquad (И.29)$$

$$u(z_r) = \frac{u(l)\cdot z}{r};$$

$$u\left(z_\varphi\right) = \frac{u(r)\cdot z}{\operatorname{tg}\varphi}; \qquad (И.30)$$

$$u(z)=\sqrt{\left[u(z_r)\right]^2+\left[u(z_\varphi)\right]^2}, \qquad (И.31)$$

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

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

r — значение радиус-вектора, вычисляемое по формуле (И.25), мм;

φ — значение угла от оси X, вычисляемое по формуле (И.27), град.

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

$$u(r_x)=\frac{x\cdot u(x)}{\sqrt{x^2+z^2}};$$
$$u(r_z)=\frac{y\cdot u(z)}{\sqrt{x^2+z^2}}; \qquad (И.32)$$

$$u(r)=\sqrt{\left[u(r_x)\right]^2+\left[u(r_z)\right]^2}. \qquad (И.33)$$

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

$$u\left(S_{i(n,c,n)}\right)_\varphi=\frac{1}{3}\sum_{m=0}^{2}\frac{u(\varphi)\cdot\left(S_j\right)_m}{\left(\varphi^m_{j+1,j}-\varphi^m_{j,j}\right)};$$
$$u\left(S_{i(n,c,n)}\right)_r=\frac{1}{3}\sum_{m=0}^{2}2\frac{u(l)\cdot\left(S_j\right)_m}{\left(r^m_{j+1\ j}+r^m_{i,j}\right)}; \qquad (И.34)$$

$$u\left(S_{i(n,c,n)}\right)_R=\sqrt{\left[u\left(S_{i(n,c,n)}\right)_\varphi\right]^2+\left[u\left(S_{i(n,c,n)}\right)_r\right]^2}. \qquad (И.35)$$

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

$$u\left(S_i\right)_R=\sqrt{\left[u\left(S_{jn}\right)_R\right]^2+\left[u\left(S_{jc}\right)_R\right]^2+\left[u\left(S_{jn}\right)_R\right]^2}, \qquad (И.36)$$

где $u(S_{in})_R$, $u(S_{ic})_R$, $u(S_{in})_R$ — неопределенности площадей в левом, среднем, правом сечении i-го пояса, вычисляемые по формуле (И.35).

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

$$u(V_i)=\frac{\left[u(S_i)_R+u(S_i)_M+S_i\right]\cdot l_i}{S_i\cdot l_i}\cdot 100=\frac{u(S_i)_R+u(S_i)_M+S_i}{S_i}\cdot 100, \qquad (И.37)$$

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

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

$$uV(H)_i=\frac{u(V_i)\cdot S(H)_i}{S_i}, \qquad (И.38)$$

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

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

$$uV(H)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}uV(H)_i, \qquad (И.39)$$

где $uV(H)_i$ — неопределенность объема i-го пояса при уровне наполнения H;

n — число поясов резервуара.

Приложение К
(справочное)

Форма журнала обработки результатов измерений

ЖУРНАЛ
обработки результатов измерений

К.1 Вычисление внутренних диаметров и длин поясов

Таблица К.1 — Вычисление внутренних диаметров и длин поясов

В миллиметрах

№ пояса	Точка измерений	Координата отсчета	Диаметры сечений		Внутренний диаметр пояса D_j	Длина пояса L_j
			внутренние D_j^k	наружные $(D_j^k)_н$		
1	2	3	4	5	6	7
1	л					
	с					
	п					
2	л					
	с					
	п					
...	л					
	с					
	п					
n	л					
	с					
	п					

Примечания
1 Графу 2 заполняют при применении тахеометра.
2 Графу 3 заполняют при применении сканера.

К.2 Вычисление параметров резервуара

Таблица К.2 — Вычисление параметров резервуара

Наименование параметра	Значение параметра
Степень наклона η	
Длина цилиндрической части резервуара L, мм	
Базовая высота $H_б$, мм	
Высота исходного уровня $H_и$, мм	
Предельный уровень наполнения $H_{пр}$, мм	

Вычисление провел

_____ _____ _____
должность личная подпись инициалы, фамилия

«___» _____ 20__ г.

Библиография

[1] 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

[4] ИСО 7507-3:2007 Нефть и нефтепродукты. Калибровка вертикальных цилиндрических резервуаров. Часть 3. Оптический триангуляционный метод

УДК 53.089.6:621.642.3:006.354 ОКС 17.020

Ключевые слова: вместимость, резервуар, уровнемер, неопределенность, уровень, градуировка, калибровка, температура, операция, тахеометр, сканер

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 16.11.2020. Подписано в печать 30 12.2020. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 7,58.
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