



Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и
испытаний в Красноярском крае, Республике Хакасия и Республике Тыва»

СОГЛАСОВАНО:

Зам. директора по метрологии
ФБУ «Красноярский ЦСМ»

С.Л. Шпирко

«11» августа 2022 г.



Государственная система обеспечения единства измерений

Резервуар вертикальный стальной цилиндрический РВСП-3000

Методика поверки

18-18/040 МП

г. Красноярск

2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие положения	4
2 Нормативные ссылки	4
3 Термины и определения.....	4
4 Операции поверки	6
5 Обработка результатов измерений.....	7
6 Средства поверки	7
7 Требования к квалификации поверителей	8
8 Требования безопасности	9
9 Условия поверки	9
10 Подготовка к поверке	9
11 Определение метрологических характеристик	10
11.1 Измерение расстояний, горизонтальных и вертикальных углов (зенитных расстояний) тахеометром или сканером, условий измерений и температуры резервуара	10
11.2 Измерения базовой высоты резервуара.....	10
11.3 Измерения при определении абсолютной высоты точки геодезической сети	10
11.4 Измерения при определении абсолютной высоты «мертвой» полости	11
11.5 Измерения при определении горизонтальных координат и абсолютной высоты точек геодезической сети.....	11
11.6 Измерения при определении координат точек и абсолютной высоты точек.....	11
11.7 Измерения при определении абсолютной высоты поясов, толщины стенок и слоя краски, высоты и знака нахлеста поясов резервуара.....	12
11.8 Измерения при определении геометрических параметров и абсолютной высоты внутренних деталей и оборудования резервуара	13
11.9 Измерения при определении абсолютной высоты уровня и плотности жидкости, находящейся в резервуаре при поверке.....	13
12 Обработка результатов измерений.....	13
12.1 Предварительная обработка результатов угловых и линейных измерений, выполненных тахеометром или сканером	13
12.2 Обработка результатов измерений при определении базовой высоты резервуара	14
12.3 Обработка результатов измерений при определении высоты точек геодезической сети и низа приемо-раздаточного патрубка.....	15
12.4 Обработка результатов измерений при определении координат точек геодезической сети методом полигонометрии	16
12.5 Обработка результатов измерений при определении высоты точек геодезической сети..	16
12.6 Обработка результатов измерений при определении среднего внутреннего радиуса цилиндрической части резервуара, радиальных отклонений внутренней поверхности цилиндрической части резервуара, степени наклона и направления наклона оси	17
12.7 Обработка результатов измерений при определении высоты поясов, толщины стенок и слоя краски, высоты нахлеста поясов резервуара.....	18
12.8 Определение интервальных вместимостей резервуара	19

12.9 Вычисление пределов допускаемой относительной погрешности вместимости поясов резервуара	24
13 Подтверждение соответствия резервуара метрологическим требованиям	25
14 Оформление результатов поверки	26
ПРИЛОЖЕНИЕ А Рисунки	28
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Форма протокола поверки	31
ПРИЛОЖЕНИЕ В Обработка результатов измерений в полигонометрическом ходе	36
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Вычисление геометрических параметров резервуара	40
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Вычисление поправок в интервальные вместимости резервуара, обусловленных наличием внутренних деталей и неровностей днища	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Оценивание неопределенности измерений вместимости резервуара	53
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Форма журнала обработки результатов измерений	62
ПРИЛОЖЕНИЕ И Форма градуировочной таблицы	65
ПРИЛОЖЕНИЕ К Эскиз резервуара	67

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на резервуар вертикальный стальной цилиндрический РВСП-3000 (далее по тексту – резервуар), вместимостью 3000 м³, единичного производства с зав. № 62, с допускаемой относительной погрешностью измерений 0,20 %, предназначенные для измерения объема, приема, хранения и отпуска нефтепродуктов. Методика поверки устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверки.

1.2 Методика поверки (далее – методика) разработана в соответствии с требованиями приказа Минпромторга РФ от 28.08.2020 г. № 2907 «Об утверждении порядка установления и изменения интервала между поверками средств измерений, порядка установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них, требований к методикам поверки средств измерений» и с учетом рекомендаций МИ 3650-2022.

1.3 При определении метрологических характеристик резервуара в рамках проводимой поверки обеспечивается прослеживаемость поверяемого резервуара к государственному первичному эталону единицы объема жидкости ГЭТ 216-2018, в соответствии с приказом Росстандарта от 07.02.2018 г. № 256.

1.4 Результатом поверки является подтверждение/не подтверждение номинальной вместимости резервуара 3000 м³, с пределом допускаемой относительной погрешности вместимости резервуара $\pm 0,20$ %.

1.5 Первичную поверку резервуара проводят после утверждения его типа и внесения сведений в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФИФ). Периодическую поверку резервуара проводят в процессе его эксплуатации с интервалом между поверками не более 5 лет.

1.6 Настоящая методика предусматривает проведение измерений геометрическим методом с помощью геодезических приборов.

1.7 Настоящая методика предусматривает только компьютерную обработку результатов измерений при определении интервальных вместимостей резервуара и составлении градуировочной таблицы.

2 Нормативные ссылки

В настоящей методике использованы ссылки на следующие документы:

ГОСТ Р 56069-2018	Требования к экспертам и специалистам. Поверитель средств измерений. Общие требования
ГОСТ 8.570-2000	Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки
Приказ Минпромторга РФ от 31 июля 2020 г. № 2510	Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке
Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 г. № 2906	Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений
Приказ Минпромторга РФ от 28 августа 2020 г. № 2907	Об утверждении порядка установления и изменения интервала между поверками средств измерений, порядка установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них, требований к методикам поверки средств измерений
МИ 3650-2022	ГСИ. Рекомендация по оформлению заявок, заявлений и прилагаемых к ним документов при утверждении типа средств измерений и внесении изменений в сведения о них, содержащиеся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений

3 Термины и определения

В настоящей методике поверки применены термины по ГОСТ 8.570, а также следующие

щие термины с соответствующими определениями:

3.1 геометрические параметры [резервуара] [деталей] [днищ]: Геометрические размеры [резервуара] [деталей] [днищ], которые определяют методом прямых или не прямых измерений и, которые используют для определения общей или интервальных вместимостей резервуара.

3.2 [геодезическая] [пространственная геодезическая] сеть: Совокупность закрепленных на поверхности земли и/или объекта точек, связанных между собой посредством пространственных угловых и линейных измерений с целью определения пространственных координат (горизонтальных координат и высоты) этих точек в единой системе координат.

3.3 горизонтальная геодезическая сеть: Математическая проекция (полученная путем математических преобразований и/или прямых измерений) пространственной геодезической сети на горизонтальную плоскость, создаваемая для определения горизонтальных координат точек резервуара.

3.4 горизонтальные координаты: Координаты в Декартовой плоской прямоугольной системе координат точек горизонтальной геодезической сети, точек на внешней или внутренней стороне стенки резервуара, днища и т. д.

3.5 вертикальная геодезическая сеть: Математическая проекция (полученная путем математических преобразований и/или прямых измерений) пространственной геодезической сети на вертикальную плоскость, создаваемая для определения высоты точек резервуара.

3.6 горизонтальное проложение: Проекция измеренного наклонного расстояния на горизонтальную плоскость.

3.7 полигонометрия: Горизонтальная геодезическая сеть в виде замкнутого многоугольника (полигона) в вершинах которого измерены горизонтальные углы, а между вершинами – расстояния (длины сторон).

3.8 высота, уровень наполнения: Расстояние по вертикали от горизонтальной плоскости, которая проходит через точку касания днища грузом рулетки и с которой совпадает ноль градуировочной таблицы, до любой точки резервуара или до свободной поверхности жидкости, находящейся в резервуаре.

Примечание – Относительно этой горизонтальной плоскости методами геометрического или тригонометрического нивелирования, а так же прямыми измерениями рулеткой определяют базовую высоту, высоту точек геодезической сети, высоту низа прямо-раздаточного патрубка или верха всасывающего патрубка, высоту поясов, высоту внутренних деталей.

3.9 превышение: Разность высоты двух любых точек (в том числе между горизонтальной осью тахеометра или сканера и любой точкой), определяемая из прямых или не прямых измерений для вычисления высоты точек.

3.10 тригонометрическое нивелирование: Метод непрямого измерения превышений между точками, вычисляемых по измеренным вертикальным углам и измеренным наклонным расстояниям или известным горизонтальным проложением с целью определения высоты точек.

3.11 полярный метод определения координат: Метод определения горизонтальных координат и высоты точек на внутренней поверхности цилиндрической части резервуара, днища и др. относительно точек геодезической сети по измеренным горизонтальным и вертикальным углам и расстояниям, измеренным от тахеометра до названных точек.

3.12 ось резервуара: Произвольно ориентированная в пространстве прямая, равноудаленная от реальной внутренней поверхности резервуара.

3.13 средний радиус цилиндрической части резервуара: Расстояние от оси резервуара до цилиндрической поверхности, радиальные отклонения от которой реальной внутренней поверхности цилиндрической части резервуара $\vartheta_j^{Pez.}$ отвечают условиям метода наименьших квадратов (МНК):

$$\sum_{j=1}^n \vartheta_j^{Pez.} = 0; \quad \sum_{j=1}^n \vartheta_j^{Pez.2} = \min \quad (3.1)$$

3.14 степень наклона оси резервуара: Тангенс угла между осью резервуара и вертикальной (отвесной) линией.

3.15 направление наклона оси резервуара: Горизонтальный угол по часовой стрелке между линией, соединяющей центр резервуара с точкой касания днища грузом рулетки, и проекцией наклонной оси на горизонтальную плоскость.

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

3.17 предельная [максимальная] высота наполнения: Высота наиболее высокой точки верхнего пояса или нижнего обреза горловины люка (если люк вварен внутрь резервуара) или любой другой, указанной в документации, горизонтальной плоскости выше которой налив не допускается.

3.18 высота «мертвой» полости: Высота низа приемо-раздаточного патрубка или верха всасывающего патрубка.

3.19 высота неконтролируемого остатка: Высота равная нулю, ниже которой невозможно провести измерения уровня жидкости в резервуаре.

3.20 номинальная вместимость: Вместимость резервуара, указанная в технической документации на резервуар и назначаемая при его проектировании.

3.21 общая вместимость: Вместимость резервуара соответствующая предельной высоте наполнения.

3.22 интервальная вместимость: Вместимость резервуара соответствующая некоторой высоте $\tilde{H}_f$ наполнения резервуара или разности высот Δh .

3.23 вместимость «мертвой» полости: Интервальная вместимость резервуара соответствующая высоте «мертвой» полости.

3.24 вместимость неконтролируемого остатка: Интервальная вместимость резервуара соответствующая высоте неконтролируемого остатка.

3.25 электронный протокол поверки: Файл пространственных координат на внутренней поверхности резервуара, полученный при помощи тахеометра или сканера, предназначенный для визуализации объекта сканирования и выполнения пространственных угловых и линейных измерений, при помощи программного обеспечения комплектного к сканеру, других измерений и вычислений.

4 Операции поверки

При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операций	Номер пункта методики поверки	Проведение операций при поверке	
		первичной	периодической
1 Подготовка к поверке	10	Да	Да
2 Измерение расстояний, горизонтальных и вертикальных углов (зенитных расстояний) тахеометром или сканером, условий измерений и температуры резервуара	11.1	Да	Да
3 Измерения базовой высоты резервуара	11.2	Да	Да
4 Измерения при определении абсолютной высоты точки геодезической сети	11.3	Да	Да
5 Измерения при определении абсолютной высоты «мертвой» полости	11.4	Да	Да
6 Измерения при определении горизонтальных координат и абсолютной высоты точек геодезической сети	11.5	Да	Да

7 Измерения при определении координат точек и абсолютной высоты точек	11.6	Да	Да
8 Измерения при определении абсолютной высоты поясов, толщины стенок и слоя краски, высоты и знака нахлеста поясов резервуара	11.7	Да	Нет ¹⁾
9 Измерения при определении геометрических параметров и абсолютной высоты внутренних деталей и оборудования резервуара	11.8	Да	Нет
10 Измерения при определении абсолютной высоты уровня и плотности жидкости, находящейся в резервуаре при поверке	11.9	Да	Да
11 Обработка результатов измерений	12	Да	Да
12 Подтверждение соответствия резервуара метрологическим требованиям	13	Да	Да
13 Оформление результатов поверки	14	Да	Да
¹⁾ Выполняют измерения толщины слоя краски, если выполнялась покраска резервуара.			

5 Обработка результатов измерений

Обработка результатов измерений после проведения операций поверки, приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Обработка результатов измерений

Наименование пункта методики поверки	Номер пункта методики поверки
1 Предварительная обработка результатов угловых и линейных измерений, выполненных тахеометром или сканером	12.1
2 Обработка результатов измерений при определении базовой высоты резервуара	12.2
3 Обработка результатов измерений при определении высоты точек геодезической сети и низа приемо-раздаточного патрубка	12.3
4 Обработка результатов измерений при определении координат точек геодезической сети методом полигонометрии	12.4
5 Обработка результатов измерений при определении высоты точек геодезической сети	12.5
6 Обработка результатов измерений при определении среднего внутреннего радиуса цилиндрической части резервуара, радиальных отклонений внутренней поверхности цилиндрической части резервуара, степени наклона и направления наклона оси	12.6
7 Обработка результатов измерений при определении высоты поясов, толщины стенок и слоя краски, высоты нахлеста поясов резервуара	12.7
8 Определение интервальных вместимостей резервуара	12.8
9 Вычисление пределов допускаемой относительной погрешности вместимости поясов резервуара	12.9

6 Средства поверки

6.1 При поверке используют средства измерений (СИ), указанные в таблице 3.

6.2 Границы допускаемой относительной погрешности определения постоянной поправки к измеряемым тахеометром или сканером расстояниям ± 2 мм.

Таблица 3 – Средства измерений, применяемые при поверке

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Пункт 9.1 Условия проведения поверки	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне от -40 до $+60$ °С с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры $\pm 0,3$ °С. Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 840 до 1060 гПа с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений $\pm 2,5$ гПа	Термогигрометр ИВА-6 мод. ИВА-6Н-Д, рег. № 46434-11
Пункты 11.1-11.9 Определение метрологических характеристик (при проведении операций поверки по данным пунктам)	Средства измерений расстояний в диапазоне от 0 до 30 м с классом точности 2 Средства измерений горизонтальных углов с диапазоном измерений от 0 до 360° с погрешностью $\pm 1''$ Средства измерений вертикальных углов наклона в диапазоне от -45 до $+90$ ° с погрешностью $\pm 1''$ Средства измерения размеров деталей в диапазоне измерений от 0 до 300 мм с погрешностью $\pm 0,04$ мм Средства измерений толщины в диапазоне от 1 до 100 мм с погрешностью $\pm (0,001h + 0,3)$ мм Средства измерений высоты в диапазоне от 1 до 3000 мм с погрешностью метрологических интервалов шкалы ± 1 мм	Рулетка измерительная металлическая типа Р, модификация Р30У2Г, рег. № 51171-12 Тахеометр электронный TOPCON IS-201 ¹⁾ , рег. № 43884-10 Сканер лазерный Imager 5010 ¹⁾ , рег. № 67609-17 Штангенциркуль ШЦ-I, рег. № 35795-07 Толщиномер ультразвуковой Булат 2, 46426-11 Рейка нивелирная телескопическая VEGA TS3M, рег. № 34005-07
¹⁾ При выполнении измерений в соответствии с настоящей методикой применяется тахеометр электронный или сканер лазерный.		

6.3 Допускается применение других (аналогичных) средств поверки, обеспечивающих проверку метрологических характеристик СИ с требуемой точностью.

6.4 Применяемые средства измерений должны иметь действующую поверку, подтверждающими сведениями о результатах поверки, включенными в ФИФ по обеспечению единства измерений.

7 Требования к квалификации поверителей

К проведению поверки резервуара допускают поверителей:

- аттестованных на соответствие требований ГОСТ Р 56069;
- обученных требованиям нормативных и методических документов, установленные к резервуарам и геодезическим приборам, основным правила их применения;
- умеющих эксплуатировать специальное программное обеспечение, аттестованное на соответствие требованиям настоящей методики;

– изучивших настоящую методику и имеющих стаж работы по данному виду измерений не менее 1 (одного) года.

8 Требования безопасности

8.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования по охране труда в соответствии с разделом 7 ГОСТ 8.570.

8.2 Непосредственно перед началом поверки руководитель производства (где осуществляется поверка) обязан провести инструктаж по охране труда, связанный с особенностями предприятия: работа на складах горючего, работа на высоте, необходимость применения спецодежды и индивидуальных средств защиты, работа во взрывоопасных и пожароопасных зонах, работа в закрытых зонах с вредными парами и т.п.

8.3 На выполнение работ, при необходимости, следует получить наряд-допуск от руководителя или главного инженера предприятия.

8.4 При наличии нефтепродукта в резервуаре измерения выполняются из-за пределов взрывоопасной зоны. При измерениях изнутри загазованность должна быть ниже допустимой при огневых работах.

8.5 Основные требования и необходимые условия для обеспечения безопасности при поверке:

– условия при проведении поверки должны соответствовать требованиям, установленным в действующих стандартах по безопасности труда;

– на рабочем месте должна быть обеспечена освещенность (общая и местная) в соответствии с действующими нормативами.

9 Условия поверки

9.1 При проведении поверки должны быть обеспечены следующие условия:

- температура окружающей среды, °С от -40 до 50;
- атмосферное давление, кПа (гПа) от 84,0 до 106,0 (от 840 до 1060);
- осадки отсутствуют;
- резервуар должен быть порожним.

9.2 Организацией-заказчиком для проведения поверки должно быть выполнено следующее:

а) резервуар должен быть полностью смонтирован, установлен на устойчивый фундамент, испытан на прочность и герметичность, полностью очищен и проветрен;

б) при наличии подготовлен план расположения резервуара, технический паспорт и чертежи общих видов, результаты предыдущей поверки.

10 Подготовка к поверке

10.1 Внешний осмотр

10.1.1 Проверяют на месте соответствие конструкции и внутренних деталей резервуара технической документацией на него.

10.1.2 Проверяют состояние отмопок резервуара (отсутствие трещин и их целостность).

10.1.3 Проверяют внешний вид и комплектность резервуара визуальным осмотром на соответствие требованиям технической документации.

10.1.4 Проверяют конструкцию и внутренние детали резервуара на соответствие требованиям технической документации.

10.1.5 Проводят внешний осмотр поверхности стенки резервуара (на отсутствие деформаций стенки, загрязнений, брызг металлов, наплывов, заусенцев).

10.1.6 Проверяют наличие необходимой арматуры и оборудования; исправность лестниц и перил для возможности проведения наружных измерений.

10.2 Подготовка к поверке и опробование

10.2.1 Резервуар и средства поверки подготавливают к работе в соответствии с технической документацией на них.

10.2.2 Проверяют наличие свидетельств о поверке и клейм на средствах поверки, а также срок очередной поверки средства измерений.

10.2.3 Проверяют работоспособность всех узлов резервуара.

11 Определение метрологических характеристик

11.1 Измерение расстояний, горизонтальных и вертикальных углов (зенитных расстояний) тахеометром или сканером, условий измерений и температуры резервуара

11.1.1 Измерение расстояний, горизонтальных и вертикальных углов (зенитных расстояний) тахеометром или сканером выполняют в соответствии с руководством по его эксплуатации. При определении координат точек в геодезической сети и при определении координат точек на поверхности стенки резервуара угловые измерения тахеометром выполняют в пол приема (только при круге лево).

Результаты линейных и угловых измерений (горизонтальные и вертикальные углы или зенитные расстояния) или горизонтальные координаты и высоты точек, вычисленные по результатам угловых и линейных измерений, записывают в память тахеометра или сканера.

11.1.2 Температуру и атмосферное давление воздуха записывают в протокол поверки и заносят в память тахеометра для автоматического ввода поправок в измеренные значения расстояний.

Результаты измерений в соответствии с 11.1.2 заносят в протокол, форма которого приведена в Б.1.3.

11.1.3 Перед началом поверки тахеометром или сканером измеряют температуру стенки резервуара термогигрометром.

Результаты измерений в соответствии с 11.1.3 заносят в протокол, форма которого приведена в Б.2.5.

11.2 Измерения базовой высоты резервуара

11.2.1 Базовую высоту резервуара измеряют в соответствии с 9.1.10 ГОСТ 8.570.

11.2.2 Базовая высота уровнемера – абсолютная высота фланца, к которому крепится уровнемер, определяется по требованию заказчика работ. При этом тахеометром или на скане измеряется либо превышение между верхом замеренной планки или среза горловины замерного люка и фланцем для крепления уровнемера, либо превышение между базовой точкой резервуара и базовой точкой уровнемера и базовая высота уровнемера аналогично базовой высоте резервуара.

Результаты измерений заносят в протокол, форма которого приведена в Б.2.2.

11.3 Измерения при определении абсолютной высоты точки геодезической сети

11.3.1 Определение высоты точек геодезической сети в виде марок, наклеенных на стенку резервуара, выполняют методом тригонометрического нивелирования. При этом, измеряют вертикальный угол и наклонное расстояние на отражатель-марку, установленную на точку касания днища грузом рулетки. Рулеткой измеряют высоту отражателя-марки над точкой касания днища грузом рулетки и вводят в тахеометр. Тахеометром измеряют вертикальные углы и наклонные расстояния на марки, наклеенные на внутренней стенке резервуара. С помощью программного обеспечения тахеометра вычисляют высоту расположения марок.

11.3.2 Рекомендуются измерения в соответствии с 11.3.1 выполнять совместно с определением горизонтальных координат точек геодезической сети в виде марок на стенке в соответствии с 11.5.8.

11.3.3 Измерения при определении высоты остальных точек геодезической сети выполняют одновременно с измерениями для определения горизонтальных координат точек геодезической сети снаружи и внутри резервуара.

Результаты измерений заносят в память тахеометра или в протокол, форма которого приведена в Б.2.3.

11.4 Измерения при определении абсолютной высоты «мертвой» полости

11.4.1 Высоту «мертвой» полости определяют по вертикальным углам и расстояниям, измеренным тахеометром на отражатель-марку, последовательно установленную на точку касания днища грузом рулетки и низ приемо-раздаточного патрубка. Если нет прямой видимости на низ внутренней образующей приемо-раздаточного патрубка, выполняют измерения на отражатель-марку, установленную на днище непосредственно под приемо-раздаточным патрубком, а затем рулеткой измеряют расстояние по вертикали от днища до низа приемо-раздаточного патрубка (рисунок А.5).

Результаты измерений заносят в память тахеометра или в протокол, форма которого приведена в Б.2.4.

11.5 Измерения при определении горизонтальных координат и абсолютной высоты точек геодезической сети

11.5.1 Измерения при определении горизонтальных координат и высоты точек геодезической сети выполняют в следующей последовательности.

Устанавливают тахеометр в центре резервуара или на линии, соединяющей центр резервуара с точкой касания днища грузом рулетки. Наводят зрительную трубу тахеометра на отражатель-марку, укрепленную на вехе, установленной на точке касания днища грузом рулетки, и обнуляют показания горизонтального круга. Измеряют вертикальный угол и расстояние до отражателя-марки и с помощью программного обеспечения тахеометра вычисляют высоту горизонта тахеометра.

Наклеивают на стенку резервуара четыре отражающих пленки (катафота) или бумажных визирных марки (см. рисунок А.1) и измеряют на них горизонтальные, вертикальные углы и расстояния (рисунок А.2). Одновременно вычисляют горизонтальные координаты и высоту этих точек и точки касания днища грузом рулетки с помощью программного обеспечения тахеометра и заносят данные в память тахеометра.

При применении сканера и необходимости провести сканирование с нескольких точек, вместо марок на стенке могут устанавливаться на днище резервуара возле его стенки равноудаленные 2-4 сферы или марки из комплекта сканера, которые сканируются из этих точек.

11.5.2 Измерения при определении горизонтальных координат и высоты дополнительных точек геодезической сети методом обратной линейно-угловой засечки выполняют непосредственно перед измерениями на стенки резервуара в следующей последовательности. Тахеометр устанавливают на штативе в точке (рисунок А.6), где это необходимо для выполнения измерений на стенки резервуара. На точках геодезической сети устанавливают не менее двух отражателей-марок и измеряют их высоты. Выполняют на них измерения горизонтальных, вертикальных углов и расстояний тахеометром. Вычисляют с помощью программного обеспечения тахеометра горизонтальные координаты и высоту точки, в которой находится тахеометр. После этого тахеометр считается подготовленным для измерений на точки на стенках резервуара.

11.5.3 Горизонтальные координаты и условная высота точек геодезической сети, вычисленные с помощью программного обеспечения, заносят в память тахеометра или сканера и, при необходимости, в протокол, форма которого приведена в Б.2.6.

11.6 Измерения при определении координат точек и абсолютной высоты точек

11.6.1 Измерения при определении координат точек рекомендуется выполнять сразу после создания геодезической сети в соответствии с 11.5.1. Перед измерениями тахеометр

(сканер) центрируют над точкой геодезической сети и измеряют его высоту (до горизонтальной оси).

11.6.2 Зрительную трубу тахеометра наводят на риску, отмечающую соответствующее вертикальное сечение на поверхности резервуара на высоте 0,75 высоты первого пояса. В тахеометр вводят код «точки на поверхности резервуара, номер сечения». Тахеометр переключают в режим «измерения расстояний без отражателя». Вращая зрительную трубу тахеометра вокруг горизонтальной оси выполняют наведение, начиная с 0,75 высоты первого пояса, на нижнюю, среднюю и верхнюю точки каждого пояса резервуара со второго до предпоследнего. Для верхнего пояса наведение осуществляют только на точки, расположенные внизу и в середине пояса. После наведения на каждую точку измеряют горизонтальное направление, вертикальный угол и расстояние. Программой, встроенной в тахеометр, вычисляют горизонтальные координаты и высоту точки, на которую выполнялись измерения и заносят в память тахеометра.

11.6.3 Измерения в соответствии с 11.6.2 выполняют на точки в каждом из вертикальных сечений, доступных для измерений с данной точки геодезической сети.

При выполнении измерений в тахеометр или сканер задают шаг сканирования в горизонтальной и вертикальной плоскости и выполняют измерения в автоматическом режиме.

11.6.4 По результатам измерений вычисляют координаты тахеометра (сканера) с помощью программного обеспечения из обратной засечки. Погрешность измерений (СКО) горизонтальных координат и высоты тахеометра должна быть не более 3 мм.

11.6.5 Определяют также горизонтальные координаты базовой точки (что тоже – точки касания днища грузом рулетки) установив отражатель-марку в эту точку. Измерения рекомендуется выполнять при измерениях, выполняемых в соответствии с 11.3.1.

Результаты измерений заносят в память тахеометра или сканера и в протокол, форма которого приведена в Б.2.2.

11.6.6 Вычисления горизонтальных координат и высоты точек выполняются с помощью программного обеспечения тахеометра или сканера непосредственно в процессе выполнения измерений сразу после координирования очередной точки полигонометрического хода. Запись координат и высоты точек проводится в память тахеометра или сканера без записи в протокол поверки.

11.7 Измерения при определении абсолютной высоты поясов, толщины стенок и слоя краски, высоты и знака нахлеста поясов резервуара

11.7.1 Измерения при определении высоты поясов резервуара выполняют методом тригонометрического нивелирования с помощью тахеометра или по скану. Устанавливают тахеометр на точке геодезической сети напротив первого вертикального сечения. Тахеометр приводят в рабочее положение согласно инструкции по эксплуатации и измеряют его высоту (до горизонтальной оси). Вычисляют высоту горизонта тахеометра и вводят в память тахеометра.

11.7.2 Зрительную трубу тахеометра последовательно наводят на точки, расположенные на границах поясов резервуара по первому вертикальному сечению, измеряют вертикальный угол, наклонное расстояние и одновременно вычисляют высоту поясов программным обеспечением тахеометра.

11.7.3 Аналогично 11.7.1 и 11.7.2 выполняют определение высоты поясов резервуара в вертикальных сечениях, расположенных под углами приблизительно 90°, 180° и 270° к первому.

При применении сканера высоты поясов снимают со скана (графического изображения резервуара программным обеспечением фирмы-производителя) в тех самых точках.

11.7.4 Толщину стенок поясов резервуара определяют непосредственным измерением при помощи толщиномера. Измерения выполняют не менее чем в 4-х точках по каждому поясу резервуара и не менее 2-х раз в каждой точке. Измеренные значения не должны отличаться более чем на 0,3 мм. Допускается использовать результаты предыдущей поверки или значения, записанные в строительной документации на резервуар.

11.7.5 Толщину слоя краски поясов резервуара определяют непосредственным измерением толщины скола краски штангенциркулем. Измерения выполняют не менее чем в 4-х точках по каждому поясу резервуара и не менее 2-х раз в каждой точке. Измеренные значения не должны отличаться более чем на 0,2 мм.

11.7.6 Высоту нахлеста поясов резервуара определяют непосредственным измерением линейкой. Измерения выполняют не менее чем в 4-х точках по каждому поясу резервуара и не менее 2-х раз в каждой точке. Измеренные значения не должны отличаться более чем на 2 мм.

Необходимо вычислить внутренние высоты поясов, поэтому, если измерения выполняются снаружи, нахлесту присваивается знак – положительный, если пояс, что находится выше, находится с внешней стороны пояса, что находится ниже, отрицательный, если пояс, что находится выше, находится с внутренней стороны пояса, что находится ниже. При измерении из середины резервуара знак нахлеста фиксируется в протоколе, но для вычислений высот поясов по 12.8.3.1 и 12.8.3.2 эта информация не используется.

11.7.7 Результаты измерений в соответствии с 11.7.1÷11.7.6 заносят в протокол, форма которого приведена в Б.2.7.

11.8 Измерения при определении геометрических параметров и абсолютной высоты внутренних деталей и оборудования резервуара

11.8.1 Измеряют диаметр поперечного сечения цилиндрической детали или ширину и высоту прямоугольного поперечного сечения как среднее из не менее чем двух измерений штангенциркулем, рулеткой или металлической линейкой. Измеряют также наклон оси детали к вертикали накладным строительным уровнем и длину детали рулеткой и результаты измерений записывают в протокол форма которого приведена у Б.2.8. Значения длины записывают со знаком "-", если деталь наружная, увеличивающая объем резервуара, и со знаком "+", если внутренняя – уменьшающая объем резервуара.

11.8.2 Высоту нижней и верхней границы детали определяют тахеометром методом тригонометрического нивелирования, последовательно измеряя вертикальные углы (зенитные расстояния) и расстояния на низ и верх каждой детали. Измерение расстояний выполняют в режиме «измерения расстояний без отражателя» тахеометра или на отражатель-марку, устанавливаемую в соответствующих точках.

Примечание – В случае невозможности выполнения измерений изнутри резервуара допускается значения высоты и параметров внутренних деталей и оборудования определять по строительной документации на резервуар или по результатам предыдущей поверки.

11.8.3 При использовании сканера размеры деталей и высота их низа и верха снимаются со скана при помощи программного обеспечения фирмы-производителя сканера.

Все результаты измерений заносят в протокол, форма которого приведена в Б.2.8.

11.9 Измерения при определении абсолютной высоты уровня и плотности жидкости, находящейся в резервуаре при поверке

11.9.1 Абсолютную высоту уровня и плотность жидкости, находящейся в резервуаре при измерениях, определяют в соответствии с 9.1.5 и 9.1.4 ГОСТ 8.570.

Результаты измерений заносят в протокол, форма которого приведена в Б.2.5.

12 Обработка результатов измерений

12.1 Предварительная обработка результатов угловых и линейных измерений, выполненных тахеометром или сканером

12.1.1 Вычисляют значения горизонтальных направлений N , вертикальных углов V (зенитных расстояний Z) и наклонных расстояний D программным обеспечением тахеометра или сканера.

12.1.2 Вычисляют значения горизонтальных проложений S по значениям наклонных расстояний D и вертикальных улов V или зенитных расстояний Z , программным обеспечением тахеометра или сканера по формулам:

$$S = D \cdot \cos V \quad \text{— при измерении вертикальных углов;} \quad (12.1)$$

$$S = D \cdot \sin Z \quad \text{— при измерении зенитных расстояний.}$$

12.1.3 При измерениях, выполненных методом тригонометрического нивелирования, вычисляют превышения h между точками, на которые выполнялось визирование при помощи тахеометра, по формулам:

$$h = D \cdot \sin V + l' - l'' \quad \text{— при измерении вертикальных углов;} \quad (12.2)$$

$$h = D \cdot \cos Z + l' - l'' \quad \text{— при измерении зенитных расстояний.}$$

где l' — измеренная рулеткой высота тахеометра (высота его горизонтальной оси) над точкой геодезической сети;

l'' — измеренная рулеткой высота отражателя-марки, установленной над точкой визирования.

Если $l' = 0$, то вычисляют превышение между горизонтальной осью тахеометра и точкой, на которую осуществлялось визирование.

12.1.4 Приращения горизонтальных координат Δx и Δy между точками геодезической сети и точками на внутренней и внешней поверхности стенки резервуара вычисляют по формулам:

$$\Delta x = D \cdot \cos V \cdot \cos \alpha = S \cdot \cos \alpha$$

$$\Delta y = D \cdot \cos V \cdot \sin \alpha = S \cdot \sin \alpha, \quad (12.3)$$

где α — дирекционный угол (азимут) направления с точки геодезической сети на точку, координаты которой определяют — плоский угол в горизонтальной плоскости по часовой стрелке от направления оси абсцисс до направления на данную точку.

Дирекционный угол (азимут) α вычисляют по формуле:

$$\alpha = \alpha^{ГС} + \beta, \quad (12.4)$$

где $\alpha^{ГС}$ — дирекционный угол (азимут) стороны геодезической сети;

β — измеренный горизонтальный угол на точку, горизонтальные координаты которой определяют.

12.1.5 Горизонтальные координаты X , Y и высота H точек на внутренней и внешней поверхности стенки резервуара и других точек резервуара относительно точек геодезической сети (горизонтальные координаты точек геодезической сети вычисляют в соответствии с 12.3, а высоту в соответствии с 12.4) вычисляют по формулам:

$$X = X^{ГС} + \Delta x$$

$$Y = Y^{ГС} + \Delta y. \quad (12.5)$$

$$H = H^{ГС} + h$$

12.1.6 Вычисления в соответствии с 12.1.1 — 12.1.5 выполняют программным обеспечением тахеометра или сканера непосредственно в процессе измерений.

12.2 Обработка результатов измерений при определении базовой высоты резервуара

12.2.1 Базовую высоту резервуара $H_б$ вычисляют как среднее арифметическое из всех измерений по формуле:

$$H_{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{\delta_i}}{n}, \quad (12.6)$$

где H_{δ_i} – i -тое измеренное значение базовой высоты резервуара;

n – общее количество измерений базовой высоты.

Вычисления по 12.2.1 выполняют в протоколе, форма которого приведена в Б.2.2.

12.2.2 Если из метрологических исследований определена постоянная поправка к расстоянию измеряемому геодезическим прибором (константа прибора), то эта поправка может быть введена в результаты измерений с использованием формул:

$$D_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + H_i^2}; \quad (12.7)$$

$$X_i^{Pez.} = X_i + C \cdot \frac{X_i}{D_i}; \quad Y_i^{Pez.} = Y_i + C \cdot \frac{Y_i}{D_i}; \quad H_i^{Pez.} = H_i + C \cdot \frac{H_i}{D_i}, \quad (12.8)$$

где C – определенная из метрологических исследований постоянная поправка к расстоянию, измеряемому геодезическим прибором (константа прибора).

12.3 Обработка результатов измерений при определении высоты точек геодезической сети и низа приемо-раздаточного патрубка

12.3.1 Высоту точки геодезической сети $H_{T_i}^{GC}$ при выполнении измерений снаружи резервуара, вычисляют по формулам:

$H_{T_i}^{GC} = H_{\delta} - h_i^B - l'_i$ – если измерения выполняли тахеометром, установленным над точкой геодезической сети, высоту которой определяют;

$H_{T_i}^{GC} = H_{\delta} - h_i^B + h_i^{GC}$ – измерения выполняли тахеометром, установленным в произвольной точке, (12.9)

где H_{δ} – базовая высота резервуара;

h_i^B – превышение между горизонтальной осью тахеометра и точкой измерения базовой высоты (замерной планкой), вычисленное в соответствии с 12.1.3;

l'_i – измеренная рулеткой высота тахеометра (высота его горизонтальной оси) над точкой геодезической сети;

h_i^{GC} – превышение между горизонтальной осью тахеометра и точкой геодезической сети, высоту которой определяют, вычисленное в соответствии с 12.1.3.

12.3.2 Высоту точек геодезической сети $H_{T_i}^{GC}$ при выполнении измерений внутри резервуара, вычисляют по формуле:

$$H_{T_i}^{GC} = h_i^{GC} - h_{\lambda}, \quad (12.10)$$

где h_{λ} – превышение между точкой касания днища грузом рулетки и горизонтальной осью тахеометра.

12.3.3 Высоту низа приемо-раздаточного патрубка – высоту «мертвой» полости $H_{МП}$ при выполнении измерений снаружи резервуара, вычисляют по формуле (если измерения выполняли на верху приемо-раздаточного патрубка):

$$H_{МП} = H_B - h_i^B + h_{\Pi}^e + \delta_{\Pi} - d_{\Pi}, \quad (12.11)$$

где h_{Π}^6 – превышение между горизонтальной осью тахеометра и верхом приемо-раздаточного патрубка;

δ_{Π} – толщина стенки приемо-раздаточного патрубка;

d_{Π} – внешний диаметр приемо-раздаточного патрубка.

Примечание – Если приемо-раздаточный патрубок загнут вниз изнутри, то определять высоту «мертвой» полости можно только изнутри, либо использовать результаты определения изнутри и снаружи, выполненные тогда, когда внутрь резервуара был доступ.

12.3.4 Высоту низа приемо-раздаточного патрубка – Высоту «мертвой» полости $H_{МП}$ при выполнении измерений изнутри резервуара тахеометром, вычисляют по формуле:

$$H_{МП} = h_{\Pi} + h_{\Pi}^{\prime\prime}, \quad (12.12)$$

где $h_{\Pi}^{\prime\prime}$ – превышение между горизонтальной осью тахеометра и низом приемо-раздаточного патрубка, измеренное изнутри резервуара.

12.3.5 Высота неконтролируемого остатка приравнивается нулю, если в технической документации не задано ее другое значение.

Предельную (максимальную) высоту наполнения приравнивают высоте верха верхнего пояса резервуара и вычисляют по формулам (12.13) или (12.14), если в технической документации не задано ее другое значение.

12.3.6 Вычисления в соответствии с 12.3.1 – 12.3.6 выполняют в протоколе, форма которого приведена в Б.2.4. Вычисления допускается выполнять программным обеспечением тахеометра непосредственно в процессе измерений.

12.3.7 Измерения для выполнения вычислений по 12.3.1 – 12.3.5, допускается выполнять по скану при помощи программного обеспечения фирмы-производителя сканера.

12.4 Обработка результатов измерений при определении координат точек геодезической сети методом полигонометрии

12.4.1 Если горизонтальные координаты точек полигонометрического хода определяли программным обеспечением тахеометра непосредственно в процессе измерений в соответствии с 11.5.1 – 11.5.8, вычисляют невязки полигонометрического хода ψ_x и ψ_y как разность контрольных и исходных горизонтальных координат, соответственно, первой или контрольной точки полигонометрического хода.

12.4.2 Если горизонтальные координаты точек полигонометрического хода не определяли программным обеспечением тахеометра, а в память тахеометра или в протокол записывали измеренные значения горизонтальных и вертикальных углов и расстояний, то горизонтальные координаты точек полигонометрического хода вычисляют в соответствии с приложением В.

12.4.3 По значениям невязок ψ_x и ψ_y , полученным в соответствии с 12.4.1 или 12.4.2, вычисляют относительную ψ_s и относительную $\delta\psi_s$ линейные невязки полигонометрического хода по формулам:

$$\psi_s = \sqrt{\psi_x^2 + \psi_y^2}; \quad \delta\psi_s = \frac{\psi_s}{P} \cdot 100\%, \quad (12.13)$$

где $P = \sum S_{T_i - T_{i+1}}^{FC}$ – периметр полигонометрического хода.

Значение относительной линейной невязки должно лежать в допускаемых пределах $\pm 0,02\%$. Если значение относительной линейной невязки вышло из допускаемых пределов, то измерения углов и длин линий полигонометрического хода повторяют.

12.5 Обработка результатов измерений при определении высоты точек

геодезической сети

12.5.1 Если высоту точек полигонометрического хода определили программным обеспечением тахеометра непосредственно в процессе измерений в соответствии с 11.5.1 – 11.5.7, вычисляют вертикальную невязку полигонометрического хода ψ_h как разность контрольной и исходной высоты, соответственно, первой или контрольной точки полигонометрического хода.

12.5.2 Если высоту точек полигонометрического хода не определяли программным обеспечением тахеометра, а в память тахеометра или в протокол записывали измеренные значения горизонтальных и вертикальных углов и расстояний, то высоту точек полигонометрического хода вычисляют в соответствии с приложением В.

12.5.3 Значение вертикальной невязки полигонометрического хода, полученное в соответствии с 12.5.1 или 12.5.2, не должно превышать предельно допускаемую невязку, вычисляемую по формуле:

$$\text{дон.} \psi_h = 5 \cdot \sqrt{n} \text{ (мм)}, \quad (12.14)$$

где n – количество измеренных превышений.

Если выполняется неравенство $|\psi_h| \geq \text{дон.} \psi_h$, то измерения превышений повторяют.

12.6 Обработка результатов измерений при определении среднего внутреннего радиуса цилиндрической части резервуара, радиальных отклонений внутренней поверхности цилиндрической части резервуара, степени наклона и направления наклона оси

12.6.1 Обработка результатов измерений при определении среднего внутреннего радиуса цилиндрической части резервуара, радиальных отклонений внутренней поверхности цилиндрической части резервуара, степени наклона и направления наклона оси резервуара выполняют по формулам, приведенным в приложении Г.

12.6.2 Поправка в средний радиус цилиндрической части резервуара за счет линейной невязки замкнутого полигонометрического хода, рассчитанного по 12.4, вводится после окончания вычисления среднего радиуса резервуара по формулам, приведенным в приложении Г.

Вычисление поправки выполняют по формулам.

Рассчитывают первую составляющую поправки в средний радиус резервуара по формуле:

$$\Delta R_{cp1}^K = 0,5 \cdot \left\{ \sqrt{\left[(X_o - X_K^{II})^2 + (Y_o - Y_K^{II})^2 \right]} - \sqrt{\left[(X_o - X_K^I)^2 + (Y_o - Y_K^I)^2 \right]} \right\}, \quad (12.15)$$

где X_o и Y_o – горизонтальные координаты центра резервуара на высоте равной нулю, рассчитанные по формулам (Г.13);

X_K^I и Y_K^I – исходные горизонтальные координаты первой точки полигонометрического хода (11.5.5) или контрольной точки (11.5.6) в начале измерений в полигонометрическом ходе;

X_K^{II} и Y_K^{II} – горизонтальные координаты первой точки полигонометрического хода (11.5.5) или контрольной точки (11.5.6) после окончания измерений в полигонометрическом ходе.

Рассчитывают вторую составляющую поправки в средний радиус резервуара по формуле:

$$\Delta R_{cp2}^K = \frac{0,25 \cdot R^{Pez.(g+1)}}{\pi} \cdot \left[\arctg \left(\frac{Y_o - Y_K^I}{X_o - X_K^I} \right) - \arctg \left(\frac{Y_o - Y_K^{II}}{X_o - X_K^{II}} \right) \right]. \quad (12.16)$$

где $R^{Pez.(g+1)}$ – средний радиус цилиндрической части резервуара, рассчитанный по формуле (Г.14).

12.6.3 При измерении сканером поправку в средний радиус цилиндрической части резервуара учитывающую отклонение метеорологических параметров атмосферы, измеренных при поверке резервуара от принятых за стандартные с достаточной точностью вычисляют по приближенной формуле:

$$A = R^{P_{ez.}(g+1)} \cdot 79,4 \cdot \left(\frac{P_b}{273,15 + t_b} - \frac{P_c}{273,15 + t_c} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (12.17)$$

где P_b и P_c – атмосферное давление, к которому приводят измерения, например, 1013,25 гПа, и среднее измеренное атмосферное давление;

t_b и t_c – температура, к которой приводятся измерения, например, 20 °С, и средняя измеренная температура воздуха.

Рассчитывают исправленное значение среднего радиуса цилиндрической части резервуара по формуле:

$$R^{P_{ez.}} = R^{P_{ez.}(g+1)} + \Delta R_{cp_1}^K + \Delta R_{cp_2}^K \pm A. \quad (12.18)$$

В формуле (12.18) поправка A имеет знак плюс, если измерения делались изнутри и минус, если снаружи.

12.7 Обработка результатов измерений при определении высоты поясов, толщины стенок и слоя краски, высоты нахлеста поясов резервуара

12.7.1 Вычисляют внешнюю высоту поясов резервуара $\bar{H}_s^{внеш.}$ (если измерения выполняются снаружи резервуара) как среднее арифметическое из 4-х измерений по формуле:

$$\bar{H}_s^{внеш.} = \frac{\sum_{i=1}^4 H_{s_i}^{внеш.}}{4}, \quad (12.19)$$

где $H_{s_i}^{внеш.}$ – i -тое измерение высоты s -го пояса резервуара.

12.7.2 Вычисляют внутреннюю высоту поясов резервуара $\bar{H}_s^{внутр.}$ (если измерения выполняются изнутри резервуара) как среднее арифметическое из 4-х измерений по формуле:

$$\bar{H}_s^{внутр.} = \frac{\sum_{i=1}^4 H_{s_i}^{внутр.}}{4}, \quad (12.20)$$

где $H_{s_i}^{внутр.}$ – i -тое измерение высоты s -го пояса резервуара.

12.7.3 Вычисляют толщину стенок поясов резервуара $\delta_s^{ст.}$ как среднее арифметическое из 4-х измерений по формуле:

$$\delta_s^{ст.} = \frac{\sum_{i=1}^4 \delta_{s_i}^{ст.}}{4}, \quad (12.21)$$

где $\delta_{s_i}^{ст.}$ – i -тое измерение толщины стенки s -го пояса резервуара.

12.7.4 Вычисляют толщину слоя краски поясов резервуара $\delta_s^{кр.}$ как среднее арифметическое из 4-х измерений по формуле:

$$\delta_s^{kp.} = \frac{\sum_{i=1}^4 \delta_{s_i}^{kp.}}{4}, \quad (12.22)$$

где $\delta_{s_i}^{kp.}$ – i -тое измерение толщины слоя краски s -го пояса резервуара.

12.7.5 Вычисляют высоту нахлеста поясов резервуара $h_s^{max.}$ как среднее арифметическое из 4-х измерений по формуле:

$$h_s^{max.} = \frac{\sum_{i=1}^4 h_{s_i}^{max.}}{4}, \quad (12.23)$$

где $h_{s_i}^{max.}$ – i -тое измерение высоты нахлеста s -го пояса резервуара.

Вычисления в соответствии с 12.7.1 - 12.7.5 выполняют в протоколе, форма которого приведена в Б.2.7.

12.8 Определение интервальных вместимостей резервуара

12.8.1 Вычисление высоты наполнения резервуара при составлении градуировочной таблицы

12.8.1.1 С шагом $\Delta h = 1$ мм вычисляют высоту H_f^+ наполнения резервуара, для которой вычисляют интервальную вместимость.

Выраженные в миллиметрах положительные значения H_f^+ высоты, для которых вычисляют интервальные вместимости, равны:

$$H_f^+ = f, \quad (12.24)$$

где f – номер цикла вычислений.

12.8.1.2 Максимальное, положительное значение высоты наполнения принимают равным высоте верха верхнего пояса (если не задана другая максимальная высота наполнения):

$$H_f^+ = H_{\max}^{пояса}. \quad (12.25)$$

12.8.1.3 Выраженные в миллиметрах отрицательные значения H_f^- высоты, для которых вычисляют интервальные вместимости, равны:

$$H_f^- = -f. \quad (12.26)$$

12.8.1.4 Минимальное, отрицательное значение высоты уровня наполнения принимается равным высоте самой нижней точки неровностей днища:

$$H_f^- = H_{\min}^{дн.}. \quad (12.27)$$

12.8.2 Вычисление вместимости слоя резервуара ΔV_R толщиной $\Delta h = 1$ мм выполняют по формуле:

$$\Delta V_R = \pi \cdot R^{Pez.^2} \cdot \Delta h, \quad (12.28)$$

где $R^{Pez.}$ – средний радиус цилиндрической части резервуара, вычисленный по формуле (2.19).

12.8.3 Вычисление поправки ΔV_f^g в f -тую интервальную вместимость резервуара учитывающей радиальные отклонения внутренней поверхности резервуара от цилиндра, радиусом, равным среднему радиусу резервуара $R^{Pez.}$.

12.8.3.1 Формируют вспомогательную матрицу из двух столбцов с количеством строк, равным числу поясов минус единица по следующему принципу:

- если знак нахлеста отрицательный, то $t_{1s} = -1; t_{2s} = 0$;
- если знак нахлеста положительный, то $t_{1s} = 0; t_{2s} = 1$;
- если нахлеста нет (сварка встык с совмещением листов изнутри), то $t_{1s} = 0; t_{2s} = 0$;
- если нахлеста нет (сварка встык с совмещением листов снаружи или их середины), то $t_{1s} = 1; t_{2s} = -1$.

12.8.3.2 Просматривают каждое вертикальное сечение и вычисляют высоту верхней и нижней границы поясов $H_{Psj}^{внутр.}$ по каждому вертикальному сечению для каждой из точек по формулам:

$$\begin{aligned} H_{Psj}^{внутр.} &= \bar{H}_s^{внеш.} - R^{Рез.} \cdot (\eta_x \cdot \cos \alpha_j + \eta_y \cdot \sin \alpha_j) - h_s^{нах.}, \\ H_{Psj}^{внутр.} &= \bar{H}_s^{внеш.} - R^{Рез.} \cdot (\eta_x \cdot \cos \alpha_j + \eta_y \cdot \sin \alpha_j) \end{aligned} \quad (12.29)$$

где $\bar{H}_s^{внеш.}$ – высота s -го пояса резервуара (если измерения выполняли снаружи резервуара), вычисленная по формуле (12.19);

$\bar{H}_s^{внутр.}$ – высота s -го пояса резервуара (если измерения выполняли изнутри резервуара), вычисленная по формуле (12.20);

$h_s^{нах.}$ – высота нахлеста s -го пояса резервуара, вычисленная по формуле (12.23);

α_j – центральный угол (азимут) между направлением из центра резервуара на точку на поверхности стенки резервуара и направлением центра резервуара на точку касания днища грузом рулетки, вычисленный по формулам (Г.16) приложения Г;

η_x, η_y – проекции степени наклона оси резервуара на вертикальные координатные плоскости, соответственно XH и YH , вычисленные по формуле (Г.12).

При выполнении приведенных выше вычислений выполняют также две операции:

– если измерения проводили без кодирования отнесения точек к поясам, то выполняют отнесение точек к поясам, проверяя, лежит ли высота точки на поверхности резервуара ниже вычисленной высоты пояса, если да, то точка относится к текущему поясу, если нет, то условие проверяют для вышестоящего пояса;

– находят две точки наиболее близко расположенные к внешней границе каждого пояса сверху и снизу в данном вертикальном сечении для вычисления радиальных отклонений на границе поясов, в соответствии с приложением Г.

12.8.3.3 Вычисляют внутренние радиальные отклонения точек нижележащего и вышележащего пояса находящихся на их внутренней границе по двум радиальным отклонениям точек наиболее близких к внешней границе поясов (т.е. к $H_{Psj}^{внеш.}$) сверху и снизу по интерполяционным формулам (при этом для вычисления радиальных отклонений выполняют для внутренней высоты пояса, которая отличается от внешней, если пояса сварены внахлест):

$$\Theta = \mathcal{G}_{i+1j}^{Pez.} - \mathcal{G}_{ij}^{Pez.} + t_{1s} \cdot (\delta_s^{cm.} + \delta_s^{кр.}) + t_{2s} \cdot (\delta_{s+1}^{cm.} + \delta_{s+1}^{кр.})$$

$$K_V = \frac{H_{Psj}^{внутр.} - H_{ij}^{Pez.}}{H_{i+1j}^{Pez.} - H_{ij}^{Pez.}}$$

$$K_N = \frac{H_{Psj}^{внутр.} - H_{i+1j}^{Pez.}}{H_{i+1j}^{Pez.} - H_{ij}^{Pez.}}, \quad (12.30)$$

$$\mathcal{G}_{PVsj}^{Pez.} = \mathcal{G}_{ij}^{Pez.} + K_V \cdot \Theta$$

$$\mathcal{G}_{PNs+1j}^{Pez.} = \mathcal{G}_{i+1j}^{Pez.} + K_N \cdot \Theta$$

где $\delta_s^{cm.}$ – толщина стенки нижележащего пояса с номером s ;

$\delta_s^{кр.}$ – толщина слоя краски нижележащего пояса с номером s ;

$\delta_{s+1}^{cm.}$ – толщина стенки вышележащего пояса с номером $s+1$;

$\delta_{s+1}^{кр.}$ – толщина слоя краски вышележащего пояса с номером $s+1$.

12.8.3.4 Вычисление интерполированных значений радиальных отклонений $\mathcal{G}_{ff}^{Pez.}$ по каждому вертикальному сечению на высоту наполнения резервуара H_f выполняют в следующем порядке.

Интерполированные значения радиальных отклонений вычисляют отдельно по каждому вертикальному сечению и отдельно по каждому поясу, однако, делают это с использованием общей таблицы горизонтальных координат и высоты, в которую занесены после вычислений радиальные отклонения всех точек. Просматривая названную таблицу, находят пары точек, для которых выполняется условие $H_{ij}^{Pez.} \leq H_f \leq H_{i+1j}^{Pez.}$ и выполняют вычисление по формуле:

$$\mathcal{G}_{ff}^{Pez.} = \mathcal{G}_{ij}^{Pez.} + (H_f - H_{ij}^{Pez.}) \cdot \frac{\mathcal{G}_{i+1j}^{Pez.} - \mathcal{G}_{ij}^{Pez.}}{H_{i+1j}^{Pez.} - H_{ij}^{Pez.}}, \quad (12.31)$$

где $\mathcal{G}_{ij}^{Pez.}$ и $\mathcal{G}_{i+1j}^{Pez.}$ – радиальные отклонения для вертикального сечения с номером j и порядковыми номерами в таблице i и $i+1$ рассчитанные по формулам приложения Г для ближайших точек ниже и выше высоты наполнения резервуара;

$H_{ij}^{Pez.}$ и $H_{i+1j}^{Pez.}$ – высота ближайших точек ниже и выше высоты наполнения резервуара;

H_f – высота наполнения резервуара, начиная с $H_f = 0$.

Для каждого пояса по каждому сечению вычисления начинают на высоте нижней границы пояса, а заканчивают на высоте верхней границы.

12.8.3.5 Вычисление средних радиальных отклонений внутренней поверхности резервуара по каждому f -му горизонтальному сечению выполняют по формуле:

$$\mathcal{G}_{fcp}^{инт.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{верт.}} \mathcal{G}_{ff}^{Pez.}}{n_{верт.}}, \quad (12.32)$$

где $n_{верт.}$ – количество вертикальных сечений резервуара.

12.8.3.6 Вычисляют поправки в f -тую интервальную вместимость резервуара учитывающие отклонение реальной формы внутренней его поверхности от наклонного цилиндра:

$$\Delta V_f^g = \pi \cdot \left(\mathfrak{G}_{f_{cp}}^{int.} + \mathfrak{G}_{f-1_{cp}}^{int.} \right) \cdot R^{Pez.} \cdot \Delta h. \quad (12.33)$$

12.8.3.7 Если для измерений применялся автоматизированный (сканирующий) тахеометр или сканер, то есть количество точек, которые координировались, в несколько раз превышало приведенную у 10.4, то вычисления поправки V_f^g , на высоту наполнения резервуара H_f , проводится по формуле:

$$V_f^g = \frac{\sum_{j=1}^{n_f} \mathfrak{G}_j^{Pez.}}{n_f} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R^{Pez.} \cdot H_f, \quad (12.34)$$

где n_f – количество точек ниже высоты H_f ;

$\mathfrak{G}_j^{Pez.}$ – все внутренние радиальные отклонения ниже высоты H_f .

12.8.4 Вычисление поправки $\Delta V_f^{\partial n.}$ в f -тую интервальную вместимость резервуара учитывающей неровность его днища выполняют в соответствии с Д.2.

Общую вместимость неровностей днища определяют как сумму интервальных вместимостей днища от высоты $H_{\min}^{\partial n.}$ к высоте $H_{\max}^{\partial n.}$

12.8.5 Вычисляют поправку ΔV_f^W в f -тую интервальную вместимость стального резервуара учитывающую деформацию стенки резервуара под воздействием веса нефтепродукта по формуле:

$$\Delta V_f^W = \frac{2 \cdot \pi \cdot g \cdot \rho_{xp.} \cdot R^{Pez.3} \cdot \Delta h}{E \cdot 10^3} \cdot \left(0,8 \cdot \frac{H_1^{Pez.}}{\delta_1^{cm.}} + \sum_{l=2}^{s-1} \left[\frac{(H_l^{Pez.} - H_{l-1}^{Pez.})}{\delta_l^{cm.}} \right] + \frac{(H_f - H_{s-1}^{Pez.})}{\delta_s^{cm.}} \right), \quad (12.35)$$

где $\rho_{xp.}$ – плотность хранимой жидкости в резервуаре во время эксплуатации (по данным лаборатории);

S – номер пояса, где находится f -тая интервальная вместимость резервуара;

H_f – высота наполнения резервуара, начиная с $H_f = 0$;

g – ускорение свободного падения, принимаемое равным $9,8066 \text{ м/с}^2$;

E – модуль упругости материала (для стали – $2,1 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$).

Примечание– При наличии ребер жесткости в поясе резервуара он разбивается на несколько поясов, для которых берется суммарная толщина стенки и ребра. Как отдельные пояса могут рассматриваться места нахлеста, где берется суммарная толщина двух поясов. Для железобетонных резервуаров эта поправка принимается равной нулю.

12.8.6 Вычисляют поправку ΔV_f^t в f -тую интервальную вместимость стального резервуара учитывающую деформацию стенки резервуара под действием температуры по формуле:

$$\Delta V_f^t = 2 \cdot \pi \cdot R^{Pez.2} \cdot \Delta h \cdot \lambda \cdot (20^\circ \text{C} - t_{cp.}), \quad (12.36)$$

где λ – температурный линейный коэффициент расширения материала (для стали – $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{K}$);

t_{cp} – средняя температура резервуара при проведении измерений в °С.

12.8.7 Вычисляют поправку ΔV_f^{nax} в f -тую интервальную вместимость резервуара учитывающую наклон η поясов резервуара к горизонту и внахлест по формуле:

$$\Delta V_f^{nax} = k_m \cdot \left(2 \cdot (H_f - \bar{H}_m^{внутр.} + R^{Pez.} \cdot \eta) - 1 \right), \quad (12.37)$$

для каждого m -го пояса в пределах $\bar{H}_m^{внутр.} - R^{Pez.} \cdot \eta < H_f \leq \bar{H}_m^{внутр.} + R^{Pez.} \cdot \eta$,

где $k_m = -\frac{\pi \cdot \Delta h \cdot \delta_m^{cm.}}{2 \cdot \eta}$ – когда m -ый пояс включает в себя вышестоящий;

$k_m = \frac{\pi \cdot \Delta h \cdot \delta_{m+1}^{cm.}}{2 \cdot \eta}$ – когда m -ый пояс включают в вышестоящий;

$k_m = 0$ – когда m -ый и $(m+1)$ -ый пояса сварены в стык или когда $\eta = 0$;

$\bar{H}_m^{внутр.}$ – средняя внутренняя высота m -го пояса;

$\delta_m^{cm.}$ – средняя толщина стенки m -го пояса резервуара;

H_f – высота наполнения резервуара, начиная с $H_f = \bar{H}_1^{внутр.} - R^{Pez.} \cdot \eta$.

12.8.8 Суммарную поправку $\Delta V_{\Sigma f}^{dem.}$ в f -тую интервальную вместимость резервуара, обусловленную наличием внутренних деталей, конструкций и оборудования вычисляют в соответствии с Д.1.

12.8.9 Вычисляют f -тую интервальную вместимость $\Delta V_f^{Pez.}$ резервуара, толщиной $\Delta h = 1$ мм, соответствующую высоте (уровню) наполнения резервуара H_f по формуле:

$$\Delta V_f^{Pez.} = \Delta V_R + \Delta V_f^g + \Delta V_f^{\partial h} + \Delta V_f^W + \Delta V_f^t + \Delta V_f^{nax} + \Delta V_f^{опор} + \Delta V_f^{nn} + \Delta V_{\Sigma f}^{dem.} \quad (12.38),$$

где поправка к f -той интервальной вместимости резервуара учитывающую объему жидкости, вытесненной плавающим покрытием $\Delta V_f^{nk} = 0$.

12.8.10 Вычисляют вместимость неконтролируемого остатка V_o в метрах кубических для всех отрицательных значений высоты H_f^- до высоты $H_0 = 0$ (вместимость резервуара ниже высоты точки касания днища грузом рулетки равной нулю):

$$V_o = \sum_{f=0}^{f=H_{\min}^{\partial h.}} \Delta V_f^{Pez.} \cdot 10^{-9}. \quad (12.39)$$

12.8.11 Вычисляют вместимость «мертвой» полости резервуара $V_{МП}$.

12.8.11.1 Вычисляют вместимость «мертвой» полости резервуара $V_{МП}$ в метрах кубических для всех отрицательных и положительных значений высоты H_f до высоты «мертвой» полости $H_f = H_{МП}$ по формуле:

$$V_{МП} = V_o + \sum_{f=1}^{f=H_{МП}} \Delta V_f^{Pez.} \cdot 10^{-9}. \quad (12.40)$$

12.8.12 Интервальные вместимости V_g для градуировочной таблицы вычисляют для высоты или уровня наполнения, кратной 1 см, суммированием интервальных вместимостей, отвечающим разнице высоты 1 мм в метрах кубических для всех отрицательных и

положительных значений высоты H_f до граничной высоты $H_f = H_{\max}$ (общая вместимость резервуара) по формулам:

$$V_1 = V_o + \sum_{f=1}^{10} \Delta V_f^{Pez.} \cdot 10^{-9}, \quad (12.41)$$

$$V_g = V_{g-1} + \sum_{f=(g-1) \cdot 10 + 1}^{f=g \cdot 10} \Delta V_f^{Pez.} \cdot 10^{-9},$$

где g – номер интервальной вместимости градуировочной таблицы соответствующий высоте наполнения $H_g = g$ выраженной в сантиметрах.

12.8.13 Вычисляют коэффициенты вместимости Θ_g , соответствующие высоте наполнения 1 мм для значений градуировочной таблицы с номером g по формулам:

$$\theta_1 = \sum_{f=1}^{10} \Delta V_f^{Pez.} \cdot 10^{-10}; \quad (12.42)$$

$$\theta_g = \sum_{f=(g-1) \cdot 10 + 1}^{f=g \cdot 10} \Delta V_f^{Pez.} \cdot 10^{-10}.$$

12.9 Вычисление пределов допускаемой относительной погрешности вместимости поясов резервуара

12.9.1 Вычисление относительного среднего квадратического отклонения (СКО) $\frac{\sigma(V_{Ps})}{V_{Ps}}$ вместимости первого и последующего поясов резервуара, составляющие которого

находят в соответствии с приложениями Г и Е, выполняется по формулам:

$$\frac{\sigma(V_{P1})}{V_{P1}} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot \sigma_A(R)}{R}\right)^2 + (\eta \cdot \sigma_\eta)^2 + \left(\frac{2 \cdot \bar{\sigma}_{P1}}{R}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot \bar{\sigma}_B(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{V^{\partial n} \cdot \delta(V^{\partial n})}{V_{P1} \cdot t_U \cdot 100}\right)^2 + (2 \cdot \lambda \cdot \sigma_\Delta)^2 + \left(\frac{\sigma(V_f^{nn})}{V_{Hf}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_{\Sigma f}^{\partial em}}{V_{Hf}}\right)^2};$$

$$\frac{\sigma(V_{Ps})}{V_{Ps}} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot \sigma_A(R)}{R}\right)^2 + (\eta \cdot \sigma_\eta)^2 + \left(\frac{2 \cdot \bar{\sigma}_{Ps}}{R}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot \bar{\sigma}_B(R)}{R}\right)^2 + (2 \cdot \lambda \cdot \sigma_\Delta)^2 + \left(\frac{\Delta V_{\Sigma f}^{\partial em}}{V_{Hf}}\right)^2}, \quad (12.44)$$

где $R = R^{Pez.}$ – средний радиус резервуара, вычисленный по формуле (Г.14);

$\sigma_A(R)$ – СКО среднего радиуса резервуара, вычисленное по третьей формуле из (Г.23);

η – степень наклона оси резервуара вычисленная по формуле (Г.15);

σ_η – СКО степени наклона оси резервуара вычисленное по формуле (Г.25);

$\bar{\sigma}_{P1}$ и $\bar{\sigma}_{Ps}$ – стандартные радиальные отклонения реальной поверхности поясов резервуара, соответственно, с номером 1 и s от цилиндра, вычисленные по формуле (Г.22) для учета погрешности поправки учитывающей рельеф пояса по Г.4;

$\sigma_B(R)$ – СКО среднего радиуса резервуара вычисленное по формуле (Г.26) или (Г.27);

λ – температурный линейный коэффициент расширения материала (для стали – $11,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{K}$);

σ_Δ – СКО отклонения средней температуры стенки резервуара от температуры, к которой приводится градуировочная таблица (например, 20°C);

$V^{\partial n.}$ – объем неровностей днища;

$\delta(V^{\partial n.})$ – пределы допускаемой относительной погрешности вместимости неровностей днища;

$\frac{\Delta V_{\Sigma f}^{dem.}}{V_{Hf}}$ – СКО объема внутренних деталей пояса с номером S ;

$\frac{\sigma(V_f^{nn.})}{V_{Hf}}$ – СКО поправки учитывающей объем жидкости, вытесненной плавающим покрытием, равна 0.

$t_U=1,96$ – коэффициент распределения Лапласа при доверительной вероятности $P=0,95$.

12.9.2 Пределы допускаемой относительной погрешности $\delta(V_{Ps})$ вместимости поясов резервуара вычисляются по формуле:

$$\delta(V_{Ps}) = \pm t_U \frac{\sigma(V_{Ps})}{V_{Ps}}. \quad (12.43)$$

12.9.3 Вычисление относительной СКО $\sigma(V_{H_{Ps}})/V_{H_{Ps}}$ интервальной вместимости цилиндрической части резервуара на высоту H_{Ps} пояса с номером S для ведения длительного внутреннего учета и инвентаризации количества жидкости в нем выполняется по формуле:

$$\frac{\sigma(V_{H_{Ps}})}{V_{H_{Ps}}} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot \sigma_A(R)}{R}\right)^2 + (\eta \cdot \sigma_\eta)^2 + \left(\frac{2 \cdot \bar{\sigma}_{\Sigma Ps}}{R}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot \bar{\sigma}_B(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{V^{\partial n.} \cdot \delta(V^{\partial n.})}{V_{H_{Ps}} \cdot t_U \cdot 100}\right)^2 + (2 \cdot \lambda \cdot \sigma_\lambda)^2 + \left(\frac{\sigma(V_f^{nn.})}{V_{Hf}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_{\Sigma f}^{dem.}}{V_{Hf}}\right)^2}. \quad (12.44)$$

12.9.4 Вычисление относительной СКО $\sigma(V_{H_{Ps}})/V_{H_{Ps}}$ интервальной вместимости цилиндрической части резервуара на высоту H_{Ps} пояса с номером S для ведения оперативного учета при приеме или сдаче жидкости и проведении коммерческих операций выполняется по формуле:

$$\frac{\sigma(V_{H_{Ps}})}{V_{H_{Ps}}} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot \sigma_A(R)}{R}\right)^2 + (\eta \cdot \sigma_\eta)^2 + \left(\frac{2 \cdot \bar{\sigma}_{\Sigma Ps}}{R}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot \bar{\sigma}_B(R)}{R}\right)^2 + (2 \cdot \lambda \cdot \sigma_\lambda)^2 + \left(\frac{\Delta V_{\Sigma f}^{dem.}}{V_{Hf}}\right)^2}. \quad (12.45)$$

12.9.5 Пределы допускаемой относительной погрешности $\delta(V_{H_{Ps}})$ вместимости поясов резервуара на высоту H_{Ps} пояса с номером S вычисляются по формуле:

$$\delta(V_{H_{Ps}}) = \pm t_U \frac{\sigma(V_{H_{Ps}})}{V_{H_{Ps}}}. \quad (12.46)$$

Результаты вычислений по формуле (12.46) записываются в табл. Ж.4 приложения Ж.

Пределы допускаемой относительной погрешности $\delta(V_{H_{Ps}})$ общей вместимости резервуара, вычисленные по формуле (12.46), должны быть меньше или равны пределам допускаемой относительной погрешности вместимости резервуара, указанной в п. 1.4 настоящей методики поверки.

13 Подтверждение соответствия резервуара метрологическим требованиям

Подтверждение соответствия резервуара метрологическим требованиям проверяется при выполнении разделов 10, 11 данной методики поверки, при определении метрологических характеристик, метрологическим характеристикам, установленным при утверждении типа средства измерений.

Результаты поверки резервуара положительные, если пределы допускаемой относительной погрешности вместимости резервуара не превышают $\pm 0,20$ %, приведенного в описании типа. В случае не выполнения данных условий результаты поверки резервуара отрицательные.

14 Оформление результатов поверки

14.1 Результаты измерений, выполненные электронными тахеометрами или сканерами, записываются в их память, а затем записываются на магнитный носитель компьютера непосредственно из памяти тахеометра или сканера.

14.2 Обработку и оформление результатов измерений при определении параметров геодезической сети и резервуара выполняют только на компьютере. Результаты измерений, записанные в память тахеометра, записывают в файлы на цифровых носителях компьютера, которые используются для обработки измерений на компьютере непосредственно без распечатки на бумагу. Составление градуировочных таблиц выполняют только на компьютере при помощи программного обеспечения, аттестованного в установленном порядке.

14.3 По результатам поверки оформляют технический отчет о поверке, составляемый организацией, выполнявшей поверку и содержащий (в случае положительных результатов):

- титульный лист технического отчета о поверке, содержащий утверждающую подпись руководителя или уполномоченного лица организации выполнявшей поверку;

- полевые протоколы поверки и, при необходимости, распечатки протоколов, введенные в компьютер по форме, приведенной в приложениях Б и В, подписанные поверителем и с оттисками поверочного клейма;

- журнал обработки результатов измерений по форме, приведенной в приложении Ж;

- титульный лист градуировочной таблицы, содержащий утверждающую подпись руководителя или уполномоченного лица организации выполнявшей поверку (приложение И);

- градуировочную таблицу по форме, приведенной в приложении И;

- эскиз резервуара по форме, приведенной в приложении К;

- при необходимости, схему расположения резервуара на объекте.

Допускается утверждать необходимое число экземпляров градуировочной таблицы как отдельного документа, при наличии минимум двух экземпляров технического отчета – по одному у заказчика и исполнителя.

При положительных результатах знак поверки наносят действующий на дату выдачи свидетельства о поверке на свидетельство о поверке.

14.4 В случае отрицательных результатов поверки выдают извещение о непригодности к применению средства измерений и оформляют следующие документы:

- полевые протоколы поверки по форме, приведенной в приложениях Б и В с указанием причин непригодности, подписанные поверителем и с оттисками поверочного клейма;

- эскиз резервуара по форме, приведенной в приложении К (при необходимости);

- при необходимости, схему расположения резервуара на объекте.

Схема расположения резервуара может составляться одна на весь объект или на части объекта.

Отрицательные результаты поверки резервуара могут удостоверяться также оформлением извещения о непригодности средства измерений к эксплуатации.

14.5 Протоколы, составленные при поверке резервуара и протоколы, введенные в компьютер, должны быть идентичны. Программное обеспечение должно обеспечивать невозможность внесения ручных изменений при помощи компьютерного редактора в журнал обработки результатов измерений и градуировочную таблицу, т. е. эти документы формируют только в автоматическом режиме. Ошибки в журнале обработки результатов измерений и градуировочной таблице исправляют путем исправления ошибок, допущенных при вводе полевых протоколов в компьютер. Полевые и введенные в компьютер протоколы должны быть идентичны.

Допускается ручное формирование на компьютере эскиза резервуара и схемы расположения резервуара на объекте, а также внесение в них числовых значений.

14.6 Технический отчет о поверке хранится в организации, выполнявшей поверку не менее 10 лет.

14.7 Протоколы поверки, в том числе электронные, введенные в компьютер, сохраняются на цифровых носителях информации не менее 10 лет.

14.8 На эскизе резервуара указывают его номер, тип, номинальную вместимость, значения базовой высоты, высоты «мертвой» полости, высоты неконтролируемого остатка и предельной высоты наполнения, а также общей вместимости, вместимости «мертвой» полости и неконтролируемого остатка (см. приложение К).

14.9 Градуировочную таблицу резервуара допускается выводить в текстовый файл.

14.10 Значение пределов погрешности (неопределенности) измерения вместимости резервуара, приводят на титульном листе градуировочной таблицы.

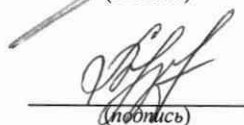
14.11 Сведения о результатах поверки СИ в целях подтверждения поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с правилами и положениями, утвержденными приказом Минпромторга России от 28.08.2020 г. № 2906.

Начальник отдела СНТР


(подпись)

Н.М. Лясковский

Ведущий инженер отдела СНТР


(подпись)

С.Г. Пурнов

Инженер I категории отдела СНТР


(подпись)

И.Н. Вишталюк

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)
РИСУНКИ

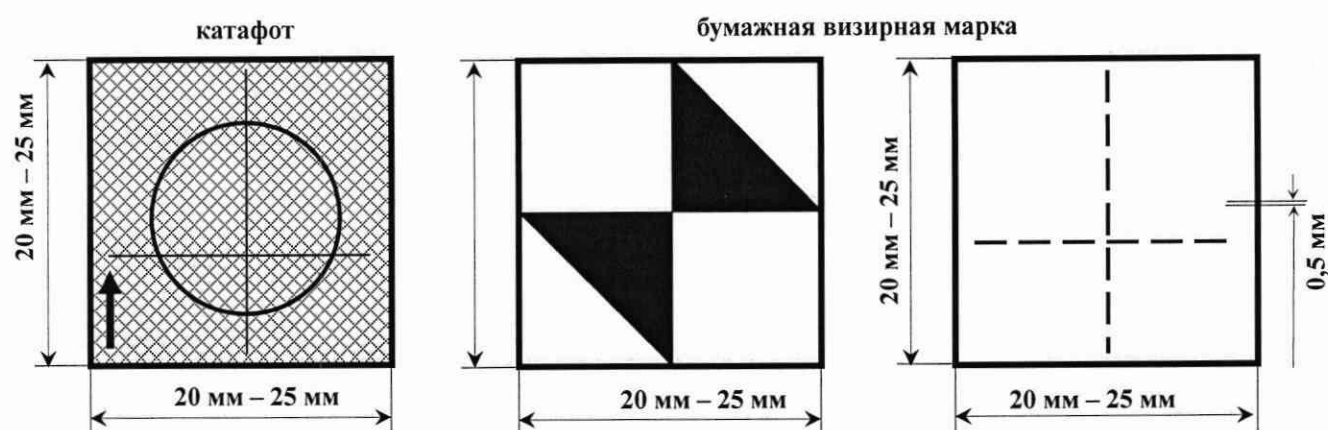


Рисунок А.1 Отражающая пленка (катафот) и бумажные визирные марки

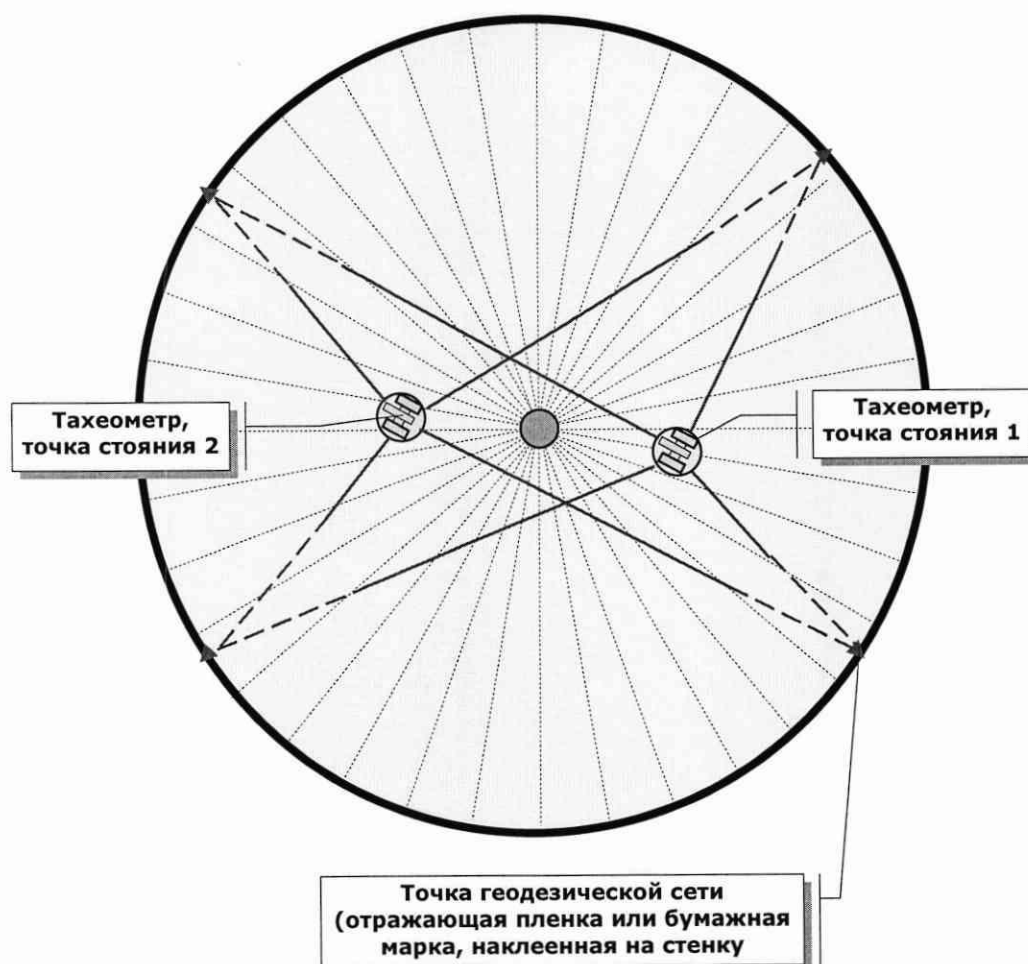


Рисунок А.2 Схема геодезической сети при выполнении измерений внутри резервуара

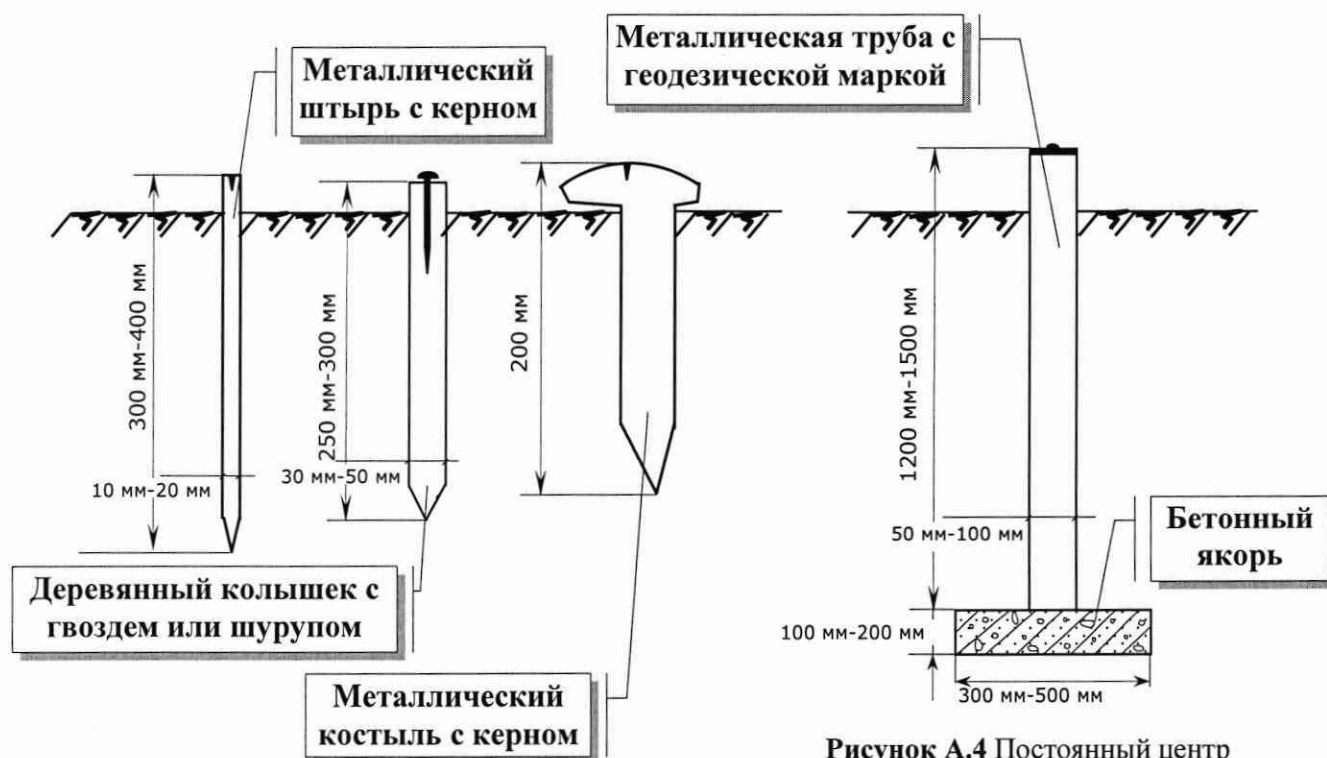


Рисунок А.3 Временные центры точек геодезической сети

Рисунок А.4 Постоянный центр точек геодезической сети

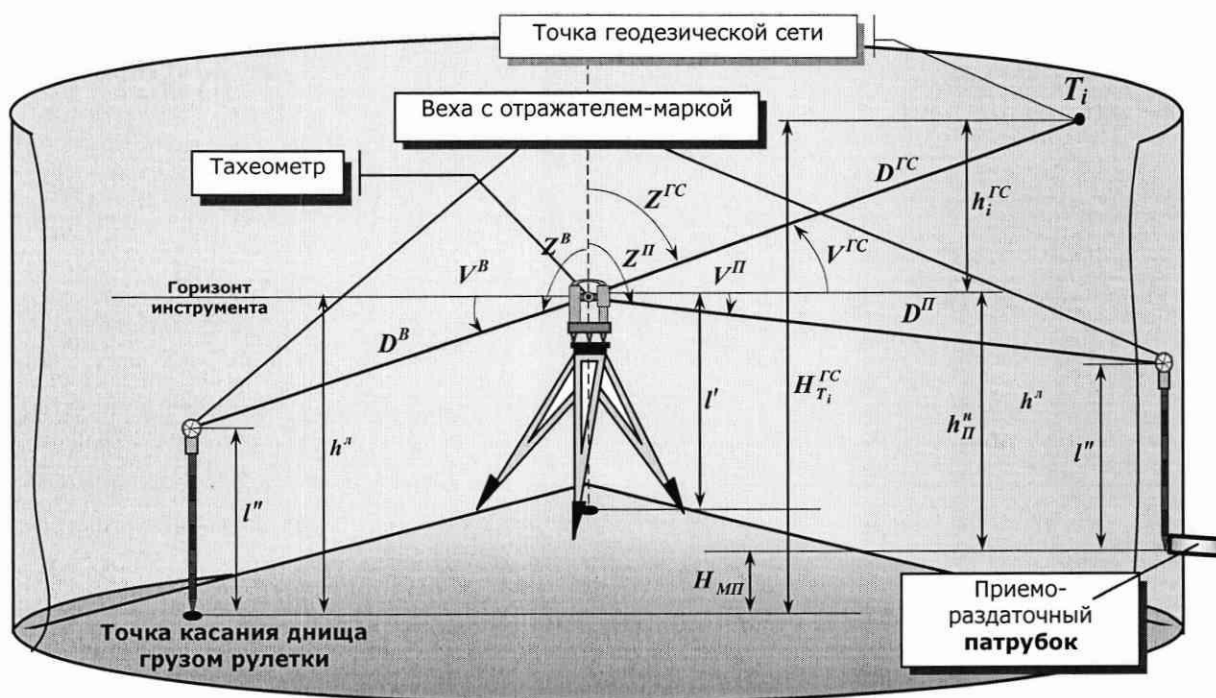


Рисунок А.5 Определение относительной высоты точки геодезической сети и „мертвой” полости относительно точки касания дна грузом рулетки при установке тахеометра внутри резервуара

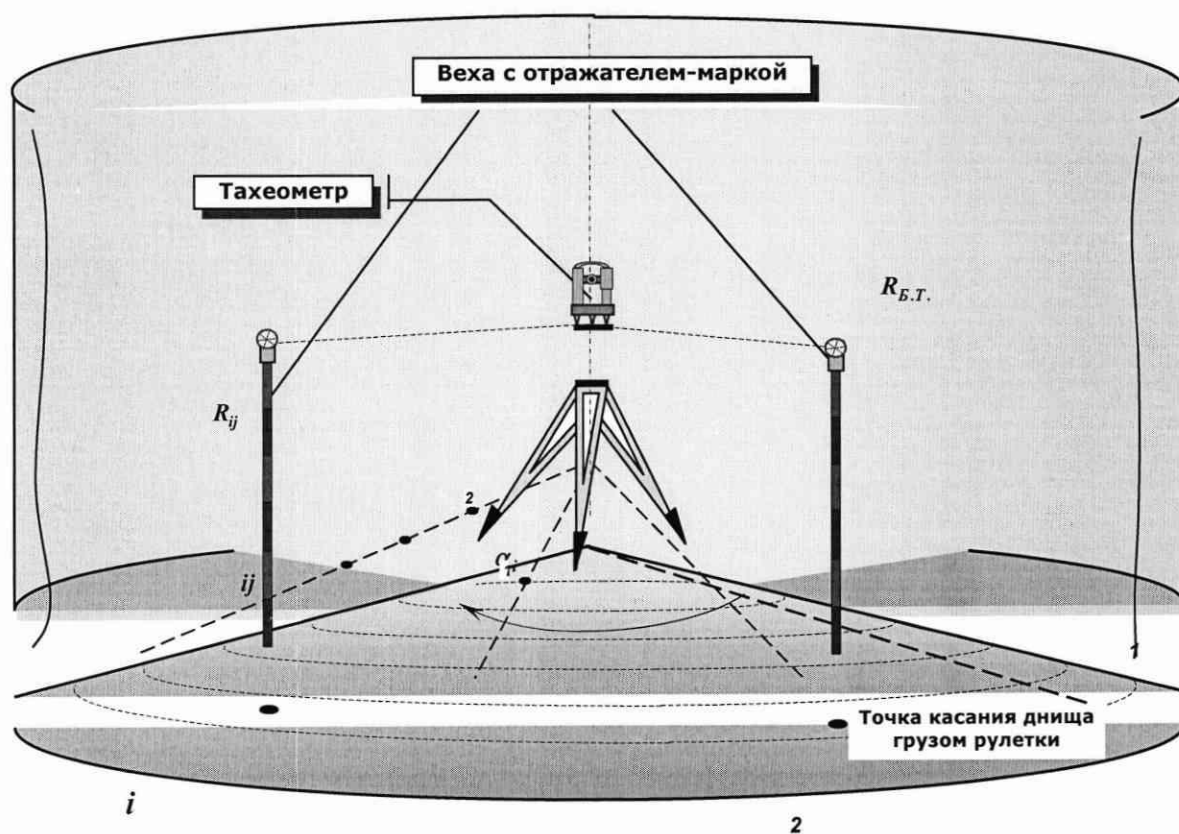


Рисунок А.6 Измерения при определении параметров дна резервуара

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)
ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ

Протокол поверки № _____ от " ____ " _____ 20 ____ г.
резервуара вертикального стального цилиндрического

Б.1 Общие сведения

№		Измеряемое СИ
1	Название	
2	Тип	
3	Погрешность (неопределенность), номинальная вместимость	
4	Номер	
5	Правообладатель	
6	Изготовитель	

Б.1.1 Методика поверки _____

Б.1.3 Условия поверки: температура ____ °С, атмосферное давление ____ кПа.

Б.1.4 Место проведения поверки _____

Б.1.5 Назначение резервуара _____

Б.1.6 Параметры резервуара: число поясов _____, число вертикальных сечений _____

Б.2 Результаты измерений

Б.2.1 Внешний осмотр и опробование _____

Б.2.2 Измерение базовой высоты резервуара

Определяемый параметр	Обозначение параметра	Обозначение единицы измерения	Значение параметра		
			1-е измерение	2-е измерение	Среднее арифметическое значение
Базовая высота резервуара	H_B	мм			
Базовая высота уровнемера	H_I	мм			
Координаты базовой точки	X_B	м			
	Y_B	м			

Б.2.3 Измерения при определении абсолютной высоты точки геодезической сети

Определяемый параметр	Обозначение параметра	Обозначение единицы измерения	Значение параметра		
			1-е измерение	2-е измерение	Среднее арифметическое значение
Превышение между горизонтальной осью тахеометра и точкой измерения базовой высоты (замерной планкой)	h_i^B	мм			
Превышение между тахеометром и точкой геодезической сети	$h_i^{ГС}$	мм			
Превышение между точкой касания днища грузом рулетки и горизонтальной осью тахеометра	$h^л$	мм			
Абсолютная высота точки геодезической сети	$H_{T_i}^{ГС}$	мм			

Б.2.4 Измерения при определении абсолютной высоты «мертвой» полости

Определяемый параметр	Обозначение параметра	Обозначение единицы измерения	Значение параметра		
			1-е измерение	2-е измерение	Среднее арифметическое значение
Превышение между горизонтальной осью тахеометра и верхом приемораздаточного патрубка	h_{Π}^e	мм			
Толщина стенки приемораздаточного патрубка	δ_{Π}	мм			
Внутренний диаметр приемораздаточного патрубка	d_{Π}	мм			
Превышение между горизонтальной осью тахеометра и низом приемораздаточного патрубка, измеренное изнутри резервуара	$h_{\Pi}^н$	мм			
Абсолютная высота «мертвой» полости	$H_{МП}$	мм			

Б.2.5 Измерения при определении абсолютной высоты уровня и плотности жидкости, находящейся в резервуаре при проверке и температуры стенки

Определяемый параметр	Обозначение параметра	Обозначение единицы измерения	Значение параметра		
			1-е измерение	2-е измерение	Среднее арифметическое значение
Уровень наполнения резервуара во время измерений	H_{Γ}	мм			

Определяемый параметр	Обозначение параметра	Обозначение единицы измерения	Значение параметра		
			1-е измерение	2-е измерение	Среднее арифметическое значение
Плотность жидкости, находящейся в резервуаре при проведении измерений	$\rho_{нов.}$	кг/м ³			
Средняя плотность жидкости, хранящейся в резервуаре во время эксплуатации	$\rho_{хр.}$	кг/м ³			
Температура стенки	$t_{ср.}$	°С			

Б.2.6 Измерения при определении горизонтальных координат и абсолютной высоты точек геодезической сети

Точка стояния, высота прибора l' , м	Точка наблюдений, высота отражателя марки l'' , м	Параметры внешних условий	Координата X , м	Координата Y , м	Высота H , м

Б.2.7 Измерения при определении высоты, толщины стенок и слоя краски, высоты нахлеста поясов резервуара

Номер пояса	Высота пояса $\bar{H}_s^{внеш(внутр)}$, мм					Толщина стенки пояса $\delta_s^{ст.}$, мм					Толщина слоя краски $\delta_s^{кр.}$, мм					Высота нахлеста пояса $h_s^{нах.}$, мм				
	измерения				Среднее	измерения				Среднее	измерения				Среднее	измерения				Среднее
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4	
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				

Б.2.8 Измерения при определении геометрических параметров и абсолютной высоты внутренних деталей и оборудования резервуара

Тип	Высота, мм	Длина, мм	Диаметр (ширина) мм	Угол наклона оси, °	Объем, м ³	Высота, мм	
						нижней границы	верхней границы

Б.3 Выводы _____

Поверитель _____ / _____ /
 (подпись) (имя, фамилия)

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОМ ХОДЕ

В.1 Обработка результатов измерений при определении координат точек геодезической сети методом полигонометрии

В.1.1 Горизонтальные координаты одной из точек (например T_1) принимают исходными и равными $X_{T_1}^{GC} = 100,000$ м, $Y_{T_1}^{GC} = 100,000$ м, а дирекционный угол (азимут) на смежный пункт (например T_2) исходным и равным $\alpha_{T_1-T_2}^{GC} = 0^\circ$ и записывают в таблицу В.1.

В.1.2 Записывают в протокол обработки (таблица В.1) значения измеренных внутренних горизонтальных углов $\beta_{T_i}^{GC}$ и горизонтальных проложений расстояний $S_{T_i-T_{i+1}}^{GC}$ между точками геодезической сети.

В.1.3 Теоретическая сумма внутренних углов в замкнутом полигонометрическом ходе равна $180^\circ \cdot (n - 2)$, где n - количество углов в ходе. Угловую невязку ψ_β в ходе вычисляют как разность суммы измеренных значений внутренних углов и теоретической суммы углов в ходе по формуле:

$$\psi_\beta = \sum_{i=1}^n \beta_{T_i}^{GC} - 180^\circ \cdot (n - 2). \quad (\text{В.1})$$

В.1.4 Вычисляют допустимую угловую невязку $\psi_{\beta_{\text{дон}}}$ замкнутого полигонометрического хода по формуле:

$$\psi_{\beta_{\text{дон}}} = 15'' \cdot \sqrt{n}. \quad (\text{В.2})$$

Проверяют выполнение неравенства $\psi_\beta \leq \psi_{\beta_{\text{дон}}}$. При невыполнении неравенства угловые измерения повторяют.

В.1.5 Вычисляют исправленные значения внутренних углов $\beta_{T_i}^{GC_{\text{исп}}}$, путем введения поправки $v_\beta = -\frac{\psi_\beta}{n}$ по формуле (поправку v_β округляют до целых секунд):

$$\beta_{T_i}^{GC_{\text{исп}}} = \beta_{T_i}^{GC} + v_\beta. \quad (\text{В.3})$$

Сумма исправленных углов должна быть равной $180^\circ \cdot (n - 2)$, т.е. должно соблюдаться равенство:

$$\sum_{i=1}^n \beta_{T_i}^{GC_{\text{исп}}} = 180^\circ \cdot (n - 2). \quad (\text{В.4})$$

В.1.6 Вычисляют дирекционные углы сторон замкнутого полигонометрического хода, начиная от исходной $\alpha_{T_1-T_2}^{GC} = 0^\circ$ по формуле:

$$\alpha_{T_{i+1}-T_{i+2}}^{GC} = \alpha_{T_i-T_{i+1}}^{GC} + \beta_{T_i}^{GC} \pm 180^\circ, \quad (\text{В.5})$$

где $\alpha_{T_i-T_{i+1}}^{GC}$, $\alpha_{T_{i+1}-T_{i+2}}^{GC}$ - дирекционные углы сторон между точками T_i , T_{i+1} и T_{i+2} полигонометрического хода.

В.1.7 Вычисляют приращения горизонтальных координат по формулам:

$$\Delta x_{T_i-T_{i+1}}^{GC} = S_{T_i-T_{i+1}}^{GC} \cdot \cos \alpha_{T_i-T_{i+1}}^{GC}; \quad (\text{В.6})$$

$$\Delta y_{T_i-T_{i+1}}^{GC} = S_{T_i-T_{i+1}}^{GC} \cdot \sin \alpha_{T_i-T_{i+1}}^{GC},$$

где $S_{T_i-T_{i+1}}^{GC}$ – горизонтальные проложения длин сторон между точками T_i и T_{i+1} полигонометрического хода.

В.1.8 Вычисляют невязку приращений горизонтальных координат в замкнутом полигонометрическом ходе по формулам:

$$\psi_x = \sum \Delta x_{T_i-T_{i+1}}^{GC}, \quad (B.7)$$

$$\psi_y = \sum \Delta y_{T_i-T_{i+1}}^{GC}.$$

Теоретическая сумма приращений горизонтальных координат должна быть равной нулю.

В.1.9 По значениям невязок ψ_x и ψ_y вычисляют относительную ψ_s и относительную $\Delta\psi_s$ линейные невязки полигонометрического хода по формулам:

$$\psi_s = \sqrt{\psi_x^2 + \psi_y^2} \text{ – относительная линейная невязка;} \quad (B.8)$$

$$\Delta\psi_s = \frac{\psi_s}{P} \cdot 100 \% \text{ – относительная линейная невязка,} \quad (B.9)$$

где $P = \sum S_{T_i-T_{i+1}}^{GC}$ – периметр полигонометрического хода.

Значение относительной линейной невязки должно лежать в допускаемых границах $\pm 0,02 \%$. Если относительная линейная невязка вышла из допускаемых границ, то измерения углов и длин линий полигонометрического хода повторяют.

В.1.10 Вычисляют исправленные значения приращений горизонтальных координат, путем введения поправок $v_x = -\frac{\psi_x}{n}$, $v_y = -\frac{\psi_y}{n}$, по формулам:

$$\Delta X_{T_i-T_{i+1}}^{GC\text{исп}} = \Delta X_{T_i-T_{i+1}}^{GC} + v_x; \quad (B.10)$$

$$\Delta Y_{T_i-T_{i+1}}^{GC\text{исп}} = \Delta Y_{T_i-T_{i+1}}^{GC} + v_y.$$

В.1.11 Вычисляют горизонтальные координаты точек геодезических сетей по формулам:

$$X_{T_i}^{GC} = X_{T_{i-1}}^{GC} + \Delta X_{T_{i-1}-T_i}^{GC} \text{ или } X_{T_i}^{GC} = X_{T_{i-1}}^{GC} + \sum_{i=2}^i \Delta X_{T_{i-1}-T_i}^{GC}; \quad (B.11)$$

$$Y_{T_i}^{GC} = Y_{T_{i-1}}^{GC} + \Delta Y_{T_{i-1}-T_i}^{GC} \text{ или } Y_{T_i}^{GC} = Y_{T_{i-1}}^{GC} + \sum_{i=2}^i \Delta Y_{T_{i-1}-T_i}^{GC}.$$

Вычисления по В.1 выполняют в протоколе обработки (таблица В.1).

Рекомендуется вычисления в соответствии с В.1 выполнять на компьютере специальной программой для обработки геодезических сетей

В.2 Обработка результатов измерений при определении высоты точек геодезической сети методом полигонометрии

В.2.1 Вычисляют превышения $h_{T_i-T_{i+1}}^{GC}$ между точками геодезической сети в соответствии с 12.1.3 и заносят в протокол обработки (таблица В.1).

В.2.2 Вычисляют вертикальную невязку замкнутого полигонометрического хода по формуле:

$$\psi_h = \sum h_{T_i-T_{i+1}}^{GC}, \quad (B.12)$$

Теоретическая сумма превышений в замкнутом ходе должна быть равной нулю.

В.2.3 Вычисляют граничную допустимую вертикальную невязку замкнутого полигонометрического хода по формуле:

$$\text{дон.} \psi_h = 5\sqrt{n} \text{ (мм)}, \quad (B.13)$$

где n – количество измеренных превышений.

Проверяют выполнение неравенства $\psi_h \leq_{don} \psi_h$. При невыполнении неравенства измерение превышений повторяют.

В.2.4 Вычисляют исправленные значения превышений с учетом поправки $v_h = -\frac{\psi_h}{n}$, по формуле:

$$h_{T_i-T_{i+1}}^{ГСисп} = h_{T_i-T_{i+1}}^{ГС} + v_h. \quad (B. 14)$$

Сумма выправленных превышений должна быть равной нулю, т.е. должно выполняться равенство:

$$\sum h_{T_i-T_{i+1}}^{ГС} = 0. \quad (B. 15)$$

В.2.5 Вычисляют высоту точек геодезической сети $H_{T_i}^{ГС}$ по формулам:

$$H_{T_{i+1}}^{ГС} = H_{T_i}^{ГС} + h_{T_i-T_{i+1}}^{ГС} \text{ или } H_{T_{i+1}}^{ГС} = H_{T_1}^{ГС} + \sum_1^i h_{T_i-T_{i+1}}^{ГС}. \quad (B.16)$$

где $H_{T_1}^{ГС}$ – высота первой точки геодезической сети, вычисленная в соответствии с 12.3.

Вычисления по В.2 выполняют в протоколе обработки (таблица В.1).

Рекомендуют вычисления в соответствии с В.2 выполнять на компьютере специальной программой для обработки геодезической сети.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

ВЫЧИСЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЕРВУАРА

К основным определяемым геометрическим параметрам резервуара относят:

- средний внутренний радиус цилиндрической части резервуара $R^{Pez.}$;
- радиальные отклонения внутренней поверхности цилиндрической части резервуара от наклонного цилиндра $\vartheta_j^{Pez.}$;

– степень наклона η и направление наклона оси резервуара φ .

К дополнительным геометрическим параметрам резервуара относятся:

- значения проекций степени наклона резервуара η_x и η_y на вертикальные плоскости координат XH и YH ;

– горизонтальные координаты центра резервуара на высоте, равной нулю - X_o , Y_o .

Оценку геометрических параметров резервуара выполняют по методу наименьших квадратов в несколько приближений по приведенному ниже алгоритму.

Г.1 Вычисление приближенных значений горизонтальных координат $X_o^{(1)}$ и $Y_o^{(1)}$ на высоте равной нулю выполняют по формулам:

$$X_o^{(1)} = \frac{\sum_{s=1}^{n_{верт.}} \min X_s^{Pez.}}{n_{верт.}}, \quad Y_o^{(1)} = \frac{\sum_{s=1}^{n_{верт.}} \min Y_s^{Pez.}}{n_{верт.}}, \quad (Г.1)$$

где $\min X_s^{Pez.}$, $\min Y_s^{Pez.}$ – горизонтальные координаты точек на поверхности резервуара, имеющие минимальные высоты по каждому вертикальному сечению;

$n_{верт.}$ – общее количество вертикальных сечений резервуара.

Г.2 Вычисление приближенного значения среднего радиуса цилиндрической части резервуара $R^{Pez.(1)}$ выполняют по формуле:

$$R^{Pez.(1)} = \sqrt{(X_j^{Pez.} - X_o^{(1)})^2 + (Y_j^{Pez.} - Y_o^{(1)})^2}, \quad (Г.2)$$

где $X_j^{Pez.}$, $Y_j^{Pez.}$ – горизонтальные координаты произвольной точки на поверхности резервуара.

Г.3 В первом приближении принимают равными нулю проекции степени наклона резервуара η_x , η_y на вертикальные плоскости координат, соответственно XH и YH .

Г.4 Исходная функция для составления и решения системы линейных уравнений имеет вид:

$$R^{Pez.} = \sqrt{(X_j^{Pez.} - X_o - \eta_x \cdot H_j^{Pez.})^2 + (Y_j^{Pez.} - Y_o - \eta_y \cdot H_j^{Pez.})^2}, \quad (Г.3)$$

где $R^{Pez.}$ – радиус резервуара; $H_j^{Pez.}$ – высота точек на поверхности резервуара.

Г.5 Параметрическое уравнение поправок имеет вид:

$$\vartheta_j^{Pez.(g)} = A_j^{(g)} \cdot \delta_{\eta_x}^{(g)} + B_j^{(g)} \cdot \delta_{\eta_y}^{(g)} + C_j^{(g)} \cdot \delta_{R^{Pez.}}^{(g)} + D_j^{(g)} \cdot \delta_{X_o}^{(g)} + E_j^{(g)} \cdot \delta_{Y_o}^{(g)} + I_j^{(g)} \quad (Г.4)$$

где $\vartheta_j^{Pez.(g)}$ – радиальные отклонения внешней (внутренней) поверхности резервуара от аппроксимирующего цилиндра, радиусом $R^{Pez.}$;

$\delta_{\eta_x}^{(g)}$, $\delta_{\eta_y}^{(g)}$ – поправки в приближенные значения проекций степени наклона оси резервуара на вертикальные плоскости координат XH и YH ;

$\delta_{R^{Pez.}}^{(g)}$ – поправка в приближенное значение среднего радиуса резервуара;

$\delta_{X_o}^{(g)}, \delta_{Y_o}^{(g)}$ – поправки в приближенные значения горизонтальных координат $X_o^{(g)}$ и $Y_o^{(g)}$ на

высоте равной нулю;

$A_j^{(g)}, B_j^{(g)}, C_j^{(g)}, D_j^{(g)}, E_j^{(g)}$ – коэффициенты параметрического уравнения поправок;

$l_j^{(g)}$ – свободный член параметрического уравнения поправок;

g – номер приближения.

Г.6 Вычисление коэффициентов и свободных членов параметрических уравнений поправок в каждом приближении выполняют по формулам (номер приближения в формулах (Г.5) и (Г.6) опущен):

$$\begin{aligned} A_j &= \frac{X_j^{Pez.} - X_o - \eta_x \cdot H_j^{Pez.}}{R^{Pez.}} H_j^{Pez.} & B_j &= \frac{Y_j^{Pez.} - Y_o - \eta_y \cdot H_j^{Pez.}}{R^{Pez.}} H_j^{Pez.} & C_j &= I \\ D_j &= \frac{X_j^{Pez.} - X_o - \eta_x \cdot H_j^{Pez.}}{R^{Pez.}} & E_j &= \frac{Y_j^{Pez.} - Y_o - \eta_y \cdot H_j^{Pez.}}{R^{Pez.}} \end{aligned} \quad (Г.5)$$

$$l_j = R^{Pez.} - \sqrt{(X_j^{Pez.} - X_o - \eta_x \cdot H_j^{Pez.})^2 + (Y_j^{Pez.} - Y_o - \eta_y \cdot H_j^{Pez.})^2}$$

Составляют уравнение (Г.4) для каждой точки, горизонтальные координаты и высота которой определены на поверхности резервуара.

Г.7 Вычисление коэффициентов и свободных членов нормальных уравнений выполняют по формулам:

$$\begin{array}{lll} N_{11} = \sum_{j=1}^n A_j^2 & N_{12} = \sum_{j=1}^n (A_j \cdot B_j) & N_{13} = \sum_{j=1}^n A_j \\ N_{14} = \sum_{j=1}^n (A_j \cdot D_j) & N_{15} = \sum_{j=1}^n (A_j \cdot E_j) & L_1 = \sum_{j=1}^n (A_j \cdot l_j) \\ \hline N_{21} = N_{12} & N_{22} = \sum_{j=1}^n B_j^2 & N_{23} = \sum_{j=1}^n B_j \\ N_{24} = \sum_{j=1}^n (B_j \cdot D_j) & N_{25} = \sum_{j=1}^n (B_j \cdot E_j) & L_2 = \sum_{j=1}^n (B_j \cdot l_j) \\ \hline N_{31} = N_{13} & N_{32} = N_{23} & N_{33} = m \\ N_{34} = \sum_{j=1}^n D_j & N_{35} = \sum_{j=1}^n E_j & L_3 = \sum_{j=1}^n l_j \\ \hline N_{41} = N_{14} & N_{42} = N_{24} & N_{43} = N_{34} \\ N_{44} = \sum_{j=1}^n D_j^2 & N_{45} = \sum_{j=1}^n (D_j \cdot E_j) & L_4 = \sum_{j=1}^n (D_j \cdot l_j) \\ N_{51} = N_{15} & N_{52} = N_{25} & N_{53} = N_{35} \\ \hline N_{54} = N_{45} & N_{55} = \sum_{j=1}^n E_j^2 & L_5 = \sum_{j=1}^n (E_j \cdot l_j) \end{array} \quad (Г.6)$$

Система нормальных уравнений имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} N_{11} \cdot \delta_{\eta_x}^{(g)} + N_{12} \cdot \delta_{\eta_y}^{(g)} + N_{13} \cdot \delta_{R^{Pez.}}^{(g)} + N_{14} \cdot \delta_{X_o}^{(g)} + N_{15} \cdot \delta_{Y_o}^{(g)} + L_1 &= 0 \\ N_{21} \cdot \delta_{\eta_x}^{(g)} + N_{22} \cdot \delta_{\eta_y}^{(g)} + N_{23} \cdot \delta_{R^{Pez.}}^{(g)} + N_{24} \cdot \delta_{X_o}^{(g)} + N_{25} \cdot \delta_{Y_o}^{(g)} + L_2 &= 0 \\ N_{31} \cdot \delta_{\eta_x}^{(g)} + N_{32} \cdot \delta_{\eta_y}^{(g)} + N_{33} \cdot \delta_{R^{Pez.}}^{(g)} + N_{34} \cdot \delta_{X_o}^{(g)} + N_{35} \cdot \delta_{Y_o}^{(g)} + L_3 &= 0 \\ N_{41} \cdot \delta_{\eta_x}^{(g)} + N_{42} \cdot \delta_{\eta_y}^{(g)} + N_{43} \cdot \delta_{R^{Pez.}}^{(g)} + N_{44} \cdot \delta_{X_o}^{(g)} + N_{45} \cdot \delta_{Y_o}^{(g)} + L_4 &= 0 \\ N_{51} \cdot \delta_{\eta_x}^{(g)} + N_{52} \cdot \delta_{\eta_y}^{(g)} + N_{53} \cdot \delta_{R^{Pez.}}^{(g)} + N_{54} \cdot \delta_{X_o}^{(g)} + N_{55} \cdot \delta_{Y_o}^{(g)} + L_5 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (Г.7)$$

Решение системы нормальных уравнений выполняют методом Гаусса по формулам, приведенным в (Г.8) – (Г.11).

Г.8 Вычисление преобразованных коэффициентов системы нормальных уравнений выполняют по формулам:

$$\begin{aligned}
 N_{22}^{(1)} &= N_{22} - \frac{N_{12} \cdot N_{12}}{N_{11}}; & N_{23}^{(1)} &= N_{23} - \frac{N_{12} \cdot N_{13}}{N_{11}}; & N_{24}^{(1)} &= N_{24} - \frac{N_{12} \cdot N_{14}}{N_{11}}; & N_{25}^{(1)} &= N_{25} - \frac{N_{12} \cdot N_{15}}{N_{11}} \\
 N_{33}^{(2)} &= N_{33} - \frac{N_{13} \cdot N_{13}}{N_{11}} - \frac{N_{23}^{(1)} \cdot N_{23}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}}; & N_{34}^{(2)} &= N_{34} - \frac{N_{13} \cdot N_{14}}{N_{11}} - \frac{N_{23}^{(1)} \cdot N_{24}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}}; & N_{35}^{(2)} &= N_{35} - \frac{N_{13} \cdot N_{15}}{N_{11}} - \frac{N_{23}^{(1)} \cdot N_{25}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}} \\
 N_{44}^{(3)} &= N_{44} - \frac{N_{14} \cdot N_{14}}{N_{11}} - \frac{N_{24}^{(1)} \cdot N_{24}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}} - \frac{N_{34}^{(2)} \cdot N_{34}^{(2)}}{N_{33}^{(2)}}; & N_{45}^{(3)} &= N_{45} - \frac{N_{14} \cdot N_{15}}{N_{11}} - \frac{N_{24}^{(1)} \cdot N_{25}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}} - \frac{N_{34}^{(2)} \cdot N_{35}^{(2)}}{N_{33}^{(2)}} \\
 N_{55}^{(4)} &= N_{55} - \frac{N_{15} \cdot N_{15}}{N_{11}} - \frac{N_{25}^{(1)} \cdot N_{25}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}} - \frac{N_{35}^{(2)} \cdot N_{35}^{(2)}}{N_{33}^{(2)}} - \frac{N_{45}^{(3)} \cdot N_{45}^{(3)}}{N_{44}^{(3)}}
 \end{aligned} \quad (\text{Г.8})$$

Г.9 Вычисление коэффициентов элиминационных уравнений выполняют по формулам:

$$\begin{aligned}
 E_{12} &= -\frac{N_{12}}{N_{11}} & E_{13} &= -\frac{N_{13}}{N_{11}} & E_{14} &= -\frac{N_{14}}{N_{11}} & E_{15} &= -\frac{N_{15}}{N_{11}} \\
 E_{23} &= -\frac{N_{23}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}} & E_{24} &= -\frac{N_{24}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}} & E_{25} &= -\frac{N_{25}^{(1)}}{N_{22}^{(1)}} \\
 E_{34} &= -\frac{N_{34}^{(2)}}{N_{33}^{(2)}} & E_{35} &= -\frac{N_{35}^{(2)}}{N_{33}^{(2)}} \\
 E_{45} &= -\frac{N_{45}^{(3)}}{N_{44}^{(3)}}
 \end{aligned} \quad (\text{Г.9})$$

Г.10 Вычисление весовых коэффициентов системы нормальных уравнений выполняют по формулам:

$$\begin{aligned}
 Q_{55} &= \frac{1}{N_{55}^{(4)}} & Q_{45} &= Q_{54} \\
 Q_{54} &= E_{45} \times Q_{55} & Q_{44} &= E_{45} \times Q_{45} + \frac{1}{N_{44}^{(3)}} \\
 Q_{53} &= E_{34} \times Q_{54} + E_{35} \times Q_{55} & Q_{43} &= E_{34} \times Q_{44} + E_{35} \times Q_{45} \\
 Q_{52} &= E_{23} \times Q_{53} + E_{24} \times Q_{54} + E_{25} \times Q_{55} & Q_{42} &= E_{23} \times Q_{43} + E_{24} \times Q_{44} + E_{25} \times Q_{45} \\
 Q_{51} &= E_{12} \times Q_{52} + E_{13} \times Q_{53} + E_{14} \times Q_{54} + E_{15} \times Q_{55} & Q_{41} &= E_{12} \times Q_{42} + E_{13} \times Q_{43} + E_{14} \times Q_{44} + E_{15} \times Q_{45} \\
 Q_{35} &= Q_{53} & Q_{25} &= Q_{52} \\
 Q_{34} &= Q_{54} & Q_{24} &= Q_{42} \\
 Q_{33} &= E_{34} \times Q_{34} + E_{35} \times Q_{35} + \frac{1}{N_{33}^{(2)}} & Q_{23} &= Q_{32} \\
 Q_{32} &= E_{23} \times Q_{33} + E_{24} \times Q_{34} + E_{25} \times Q_{35} & Q_{22} &= E_{23} \times Q_{23} + E_{24} \times Q_{24} + E_{25} \times Q_{25} + \frac{1}{N_{22}^{(1)}} \\
 Q_{31} &= E_{12} \times Q_{32} + E_{13} \times Q_{33} + E_{14} \times Q_{34} + E_{15} \times Q_{35} & Q_{21} &= E_{12} \times Q_{22} + E_{13} \times Q_{23} + E_{14} \times Q_{24} + E_{15} \times Q_{25} \\
 Q_{15} &= Q_{51} \\
 Q_{14} &= Q_{41} \\
 Q_{13} &= Q_{31} \\
 Q_{12} &= Q_{21}
 \end{aligned} \quad (\text{Г.10})$$

$$Q_{11} = E_{12} \times Q_{12} + E_{13} \times Q_{13} + E_{14} \times Q_{14} + E_{15} \times Q_{15} + \frac{1}{N_{11}}$$

Г.11 Вычисление поправок к приближенным значениям определяемых геометрических параметров выполняют по формулам:

$$\begin{aligned}\delta_{\eta_x}^{(g)} &= -Q_{11} \cdot L_1 - Q_{12} \cdot L_2 - Q_{13} \cdot L_3 - Q_{14} \cdot L_4 - Q_{15} \cdot L_5; \\ \delta_{\eta_y}^{(g)} &= -Q_{21} \cdot L_1 - Q_{22} \cdot L_2 - Q_{23} \cdot L_3 - Q_{24} \cdot L_4 - Q_{25} \cdot L_5; \\ \delta_{R^{Pez.}}^{(g)} &= -Q_{31} \cdot L_1 - Q_{32} \cdot L_2 - Q_{33} \cdot L_3 - Q_{34} \cdot L_4 - Q_{35} \cdot L_5; \\ \delta_{X_o}^{(g)} &= -Q_{41} \cdot L_1 - Q_{42} \cdot L_2 - Q_{43} \cdot L_3 - Q_{44} \cdot L_4 - Q_{45} \cdot L_5; \\ \delta_{Y_o}^{(g)} &= -Q_{51} \cdot L_1 - Q_{52} \cdot L_2 - Q_{53} \cdot L_3 - Q_{54} \cdot L_4 - Q_{55} \cdot L_5.\end{aligned}\quad (Г.11)$$

Г.12 Вычисление проекции степени наклона оси резервуара на вертикальные плоскости координат, соответственно XH и YH для следующего приближения выполняют по формулам:

$$\eta_x^{(g+1)} = \eta_x^{(g)} + \delta_{\eta_x}^{(g)}; \quad \eta_y^{(g+1)} = \eta_y^{(g)} + \delta_{\eta_y}^{(g)}. \quad (Г.12)$$

Г.13 Вычисление значений горизонтальных координат X_o и Y_o на высоте равной нулю выполняют по формулам:

$$X_o^{(g+1)} = X_o^{(g)} + \delta_{X_o}^{(g)}, \quad Y_o^{(g+1)} = Y_o^{(g)} + \delta_{Y_o}^{(g)}. \quad (Г.13)$$

Г.14 Вычисление среднего радиуса цилиндрической части резервуара R^{Pez} для следующего приближения выполняют по формуле:

$$R^{Pez(g+1)} = R^{Pez(g)} + \delta_{R^{Pez.}}^{(g)}. \quad (Г.14)$$

Если поправка к значению среднего радиуса $\delta_{R^{Pez.}}^{(g)}$ по модулю превышает 0,05 мм, то начинают следующее приближение по формулам (Г.4) – (Г.14), если нет – вычисления прекращают. Далее используют геометрические параметры цилиндрической части резервуара, полученные в последнем приближении

Г.15 Вычисление степени наклона оси резервуара η выполняют по формуле:

$$\eta = \sqrt{\eta_x^2 + \eta_y^2}. \quad (Г.15)$$

Г.16 Вычисляют азимут линии α_o , соединяющей центр резервуара и точку касания днища грузом рулетки по формуле:

$$\alpha_o = \arctg \frac{Y_B^{Pez.} - Y_o}{X_B^{Pez.} - X_o}, \quad (Г.16)$$

где $X_B^{Pez.}$, $Y_B^{Pez.}$ – горизонтальные координаты точки касания днища грузом рулетки.

Г.17 Вычисление угла направления наклона оси резервуара φ выполняют по формулам:

$$\begin{aligned}\varphi &= \gamma - \alpha_o, & \text{если } \eta_y \geq 0; \\ \varphi &= 360^\circ - \gamma - \alpha_o, & \text{если } \eta_y < 0;\end{aligned}\quad (Г.17)$$

где $\gamma = \arccos \left| \frac{\eta_y}{\eta} \right|.$

Г.18 Вычисление радиальных отклонений $g_{js}^{Pez.}$ внешней (внутренней) поверхности цилиндрической части резервуара от цилиндра радиусом $R^{Pez.}$ выполняют по формуле (Г.5).

Г.19 Вычисление внутренних радиальных отклонений, исправленных за деформацию,

вызванную гидростатическим давлением жидкости, находящейся в стальном резервуаре во время поверки, при измерениях, выполненных снаружи резервуара, проводят по формуле:

$$g_{js}^{Pez.} = g_{js}^{Pez.} - \frac{g \cdot \rho_{нов.} \cdot R^{Pez.^2}}{E \cdot 10^3} \cdot \frac{H_{\Gamma} - H_j^{Pez.}}{\bar{\delta}_s^{cm.}} - (\bar{\delta}_s^{cm.} - \bar{\delta}_s^{кр.}), \quad (Г.18)$$

где g – ускорение свободного падения, равное $9,8066 \text{ м/с}^2$;

$\rho_{нов.}$ – плотность жидкости, находящейся в резервуаре при проведении измерений (по данным лаборатории);

$R^{Pez.}$ – средний радиус резервуара;

H_{Γ} – высота налитой в резервуар жидкости при поверке;

$H_j^{Pez.}$ – высота j -той точки на поверхности резервуара;

E – модуль упругости материала (для стали – $2,1 \times 10^{11} \text{ Н/м}^2$);

$\bar{\delta}_s^{cm.}$ – средняя толщина стенки s -го пояса на котором находится j -тая точка на поверхности резервуара;

$\bar{\delta}_s^{кр.}$ – средняя толщина слоя краски стенки s -го пояса, на котором находится j -ая точка на поверхности резервуара.

Примечание– Если измерения выполняли внутри стального резервуара, то внутренние радиальные отклонения определяют только в соответствии с Г.18.

Г.20 Вычисление пределов допускаемой погрешности геометрических параметров резервуара

Г.20.1 Среднее квадратическое отклонение (стандартное отклонение) σ_{Ps} единичного радиального отклонения реальной поверхности поясов резервуара от аппроксимирующего цилиндра $g_{js}^{Pez.}$ вычисляется по формулам:

$$g_{Ps}^{cp.} = \frac{\sum_{i=1}^{l_s} g_{js}^{Pez.}}{l_s}; \quad (Г.19)$$

$$\sigma_{Ps} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{l_s} (g_{js}^{Pez.} - g_{Ps}^{cp.})^2}{l_s - m}}, \quad (Г.20)$$

где l_s – общее количество точек в поясе с номером s ;

$m = 5$ – количество определяемых геометрических параметров.

Г.20.2 Вычисление среднего квадратического отклонения (стандартного отклонения) $\sigma_{\Sigma Ps}$ и σ единичного радиального отклонения реальной внутренней поверхности нескольких поясов и всего резервуара от цилиндра выполняют по формулам:

$$\sigma_{\Sigma Ps} = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^s \sum_{j=1}^{l_s} (g_{js}^{Pez.} - g_{Ps}^{cp.})^2}{\sum_{s=1}^s l_s - m - s + 1}}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^k \sum_{j=1}^n (g_{js}^{Pez.} - g_{Ps}^{cp.})^2}{n - m - k + 1}}, \quad (Г.21)$$

где k – общее количество поясов резервуара;

n – общее количество точек на поверхности стенки резервуара.

Г.20.3 Вычисление среднего квадратического отклонения $\bar{\sigma}_{Ps}$ и $\bar{\sigma}_{\Sigma Ps}$ среднего радиального отклонения от цилиндра (стандартного отклонения) $\mathcal{G}_{Ps}^{cp}$ реальной поверхности отдельных поясов и нескольких поясов резервуара выполняют по формулам:

$$\bar{\sigma}_{Ps} = \sigma_{Ps} \cdot \sqrt{Q_{33} \cdot \frac{n}{l_s}}; \quad \bar{\sigma}_{\Sigma Ps} = \sigma_{\Sigma Ps} \cdot \sqrt{Q_{33} \cdot \frac{n}{\sum_{s=1}^s l_s}}. \quad (\text{Г.22})$$

Г.20.4 Вычисление среднего квадратического отклонения (стандартной неопределенности по типу А) определяемых параметров резервуара – проекций степени наклона оси резервуара η_x и η_y на координатные плоскости, среднего радиуса $R^{Pez.}$ и горизонтальных координат его оси X_o, Y_o на высоте H_o , выполняется по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_{\eta_x} &= \sigma \cdot \sqrt{Q_{11}}; & \sigma_{\eta_y} &= \sigma \cdot \sqrt{Q_{22}}; & u_A(R) &= \sigma_{R^{Pez.}} = \sigma \cdot \sqrt{Q_{33}}; \\ \sigma_{X_o} &= \sigma \cdot \sqrt{Q_{44}}; & \sigma_{Y_o} &= \sigma \cdot \sqrt{Q_{55}}, \end{aligned} \quad (\text{Г.23})$$

где $Q_{11}, Q_{22}, Q_{33}, Q_{44}, Q_{55}$, – диагональные члены матрицы обратной к матрице нормальных уравнений, полученные по Г.8 – Г.10.

Г.20.5 Вычисление функций определяемых геометрических параметров резервуара – степени наклона η и направления наклона φ оси резервуара, выполняется по общей формуле метода наименьших квадратов:

$$\sigma_F^2 = \sigma^2 \cdot f_Y \cdot Q \cdot f_Y^T, \quad (\text{Г.24})$$

где f_Y – вектор частных производных от функции по определяемым геометрическим параметрам резервуара;

Q – обратная матрица, вычисленная по формулам (Г.8) – (Г.10).

Г.20.6 Вычисление среднего квадратического отклонения (стандартной неопределенности по типу А) определяемых параметров резервуара – степени наклона η и направления наклона φ оси резервуара выполняют по формулам, которые получены с использованием общей формулы (Г.24):

$$u_A(\eta) = \sigma_\eta = \frac{\sigma}{\eta} \cdot \sqrt{\eta_x^2 \cdot Q_{11} + \eta_y^2 \cdot Q_{22} + 2\eta_x \cdot \eta_y \cdot Q_{12}}, \quad (\text{Г.25})$$

$$u_A(\varphi) = \sigma_\varphi = \sigma \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{\eta_x \cdot \eta_y}{\eta^2} \cdot \sqrt{\frac{Q_{11}}{\eta_x^2} + \frac{Q_{22}}{\eta_y^2} - \frac{2Q_{12}}{\eta_x \cdot \eta_y}}. \quad (\text{Г.26})$$

Г.20.7 Вычисление пределов допускаемой относительной погрешности определяемых геометрических параметров резервуара выполняется по формулам:

$$\Delta_\eta = \pm t_U \cdot \sigma_\eta = \pm 2,0 \cdot \sigma_\eta; \quad \Delta_\varphi = \pm t_U \cdot \sigma_\varphi = \pm 2,0 \cdot \sigma_\varphi; \quad (\text{Г.27})$$

$$\Delta_{R^{Pez.}} = \pm t_U \cdot \sigma_{R^{Pez.}} = \pm 2,0 \cdot \sigma_{R^{Pez.}}. \quad (\text{Г.28})$$

Г.20.8 Вычисление пределов допускаемой относительной погрешности определения среднего радиуса резервуара $\delta_{R^{Pez.}}$ (что тоже – средней длины окружности резервуара):

$$\delta_{R^{Pez.}} = \pm t_U \cdot \frac{\Delta_{R^{Pez.}}}{R^{Pez.}} \cdot 100\%, \quad (\text{Г.29})$$

где $t_{U=2,0}$ – коэффициент распределения Лапласа (коэффициент охвата) при доверительной вероятности $P=0,9545$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОПРАВОК В ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ВМЕСТИМОСТИ
РЕЗЕРВУАРА, ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАЛИЧИЕМ ВНУТРЕННИХ ДЕТАЛЕЙ И
НЕРОВНОСТЕЙ ДНИЩА**

Д.1 Вычисление поправок в интервальные вместимости резервуара, обусловленных наличием внутренних деталей

Д.1.1 Вычисляют поправку $\Delta V_{f_k}^{dem.}$ в f -тую интервальную вместимость резервуара для k -той внутренней детали или высоты наполнения H_f по формулам:

– для детали цилиндрической формы, ось которой расположена под углом от 0° до 45° к вертикали:

$$\Delta V_{f_k}^{dem.} = 0,78 \cdot d_k^2 \cdot l_k \cdot \left\{ \left(\frac{H_f - H_{\downarrow k}}{H_{\uparrow k} - H_{\downarrow k}} \right)^{1/\cos \gamma_k} - \left(\frac{H_{f-1} - H_{\downarrow k}}{H_{\uparrow k} - H_{\downarrow k}} \right)^{1/\cos \gamma_k} \right\}; \quad (Д.1)$$

– для детали цилиндрической формы, ось которой расположена под углом от 45° до 90° к вертикали:

$$\Delta V_{f_k}^{dem.} = 0,39 \cdot d_k^2 \cdot l_k \cdot \left\{ \cos \left[180^\circ \cdot \left(\frac{H_{f-1} - H_{\downarrow k}}{H_{\uparrow k} - H_{\downarrow k}} \right)^{1,08 \cdot \cos(45^\circ - \gamma_k)} \right] - \cos \left[180^\circ \cdot \left(\frac{H_f - H_{\downarrow k}}{H_{\uparrow k} - H_{\downarrow k}} \right)^{1,08 \cdot \cos(45^\circ - \gamma_k)} \right] \right\}; \quad (Д.2)$$

– для детали прямоугольной формы, ось которой расположена под любым углом к вертикали:

$$\Delta V_{f_k}^{dem.} = a_k \cdot b_k \cdot l_k \cdot \left[\left(\frac{H_f - H_{\downarrow k}}{H_{\uparrow k} - H_{\downarrow k}} \right)^{1 + \frac{a_k}{l_k} \sin \gamma_k} - \left(\frac{H_{f-1} - H_{\downarrow k}}{H_{\uparrow k} - H_{\downarrow k}} \right)^{1 + \frac{a_k}{l_k} \sin \gamma_k} \right], \quad (Д.3)$$

где d_k, l_k – средний диаметр поперечного сечения и средняя длина;

a_k, b_k – средняя ширина и высота прямоугольного поперечного сечения;

γ_k – угол наклона оси к вертикали;

$H_{\uparrow k}, H_{\downarrow k}$ – высота верхней и нижней границы детали.

Д.1.2 Вычисляют суммарную поправку $\Delta V_{\Sigma f}^{dem.}$ к f -той интервальной вместимости резервуара при наличии внутренних деталей по формуле:

$$\Delta V_{\Sigma f}^{dem.} = \sum_{k=1}^{n_{dem.}} \Delta V_{f_k}^{dem.}, \quad (Д.4)$$

где $n_{dem.}$ – общее количество внутренних деталей в резервуаре.

Д.2 Вычисление поправок в интервальные вместимости резервуара, обусловленных наличием неровностей днища

Д.2.1 Подсчитывается в автоматическом режиме количество точек, координаты которых определены на днище резервуара $N_{Дн.}$ и вычисляется угловой шаг для ячеек по азимуту N_α и радиусу N_R по формуле:

$$N_R = N_\alpha = \frac{\sqrt{N_{Дн.}}}{t_{R\alpha}}, \quad (Д.5)$$

где $t_{R\alpha}$ – коэффициент от 2 до 4, который определяет приближенное количество точек в ячейке (если $t_{R\alpha} = 2$, то теоретически 4 точки в ячейке, $t_{R\alpha} = 3$, то 9 точек, $t_{R\alpha} = 4$, то 16 точек). Количество ячеек округляется до целого в меньшую сторону.

Угловой шаг по азимуту выполняется в пределах от 0° до 360° и вычисляется по формуле: $SH_\alpha = \frac{2 \cdot \pi}{N_\alpha} = \frac{360^\circ}{N_\alpha}$, округляется в меньшую сторону до числа кратного 2 или 3 (или шаг кратен 1° ; $0,5^\circ$ или $0,25^\circ$).

Угловой шаг по радиусу выполняется в пределах от минимального угла сканирования прибором от надира ϕ_{min} (например, 45° или 50°) до $\phi_{max} = \arccos\left(\frac{h_{II}}{R^{Pez.}}\right)$, где h_{II} – приближенная высота прибора над днищем (например, 1,5 м).

Угловой шаг по радиусу вычисляется по формуле: $SH_R = \frac{\phi_{max} - \phi_{min}}{N_R}$, и не округляется.

Д.2.2 Из обратной геодезической задачи находится расстояние и азимут из центра резервуара до каждой точки по формулам:

$$R_j^{Дн.} = \sqrt{(X_j^{Дн.} - X_o - \eta_x \cdot H_j^{Дн.})^2 + (Y_j^{Дн.} - Y_o - \eta_y \cdot H_j^{Дн.})^2}; \quad (Д.6)$$

$$\gamma_j = \arccos \left(\frac{Y_j^{Pez.} - Y_o - \eta_y \cdot H_j^{Pez.}}{R_j^{Дн.}} \right); \quad (Д.7)$$

$$\alpha_j = \gamma_j, \quad \text{если } X_j^{Дн.} - X_o - \eta_x \cdot H_j^{Дн.} \geq 0;$$

$$\alpha_j = 360^\circ - \gamma_j, \quad \text{если } X_j^{Дн.} - X_o - \eta_x \cdot H_j^{Дн.} < 0.$$

Д.2.3 По данным Д.2.1 и Д.2.2 проверяется, попадает ли точка в ячейку и подсчитывается количество точек в каждой ячейке:

$$SH_\alpha \cdot (i_\alpha - 1) \leq \alpha_j < SH_\alpha \cdot i_\alpha, \quad (Д.8)$$

где $i_\alpha = 1 \dots N_\alpha$ – номер ячейки по азимуту.

$$h_{Пр.} \cdot \cos(\phi_{max} - SH_R \cdot (i_R - 1)) \leq R_j^{Дн.} < h_{Пр.} \cdot \cos(\phi_{max} - SH_R \cdot i_R) \quad (Д.9)$$

$$\text{или } R_{i_R-1} \leq R_j^{Дн.} < R_{i_R}, \quad (Д.10)$$

где $i_R = 1 \dots N_R$ – номер ячейки по радиусу;

R_{i_R-1} , R_{i_R} – внутренний и внешний радиус ячейки с номером i_R .

Д.2.4 Для предварительного удаления грубых ошибок проводится поиск точки с максимальной высотой, с минимальной высотой, с максимальным радиусом. Проводится анализ результатов сканирования на наличие грубых ошибок измерений и в ручном режиме удаляются точки, которые по высоте явно не принадлежат днищу или выходят за радиус резервуара.

Д.2.5 Высчитывается средняя высота в ячейке, СКО и СКО среднего, а также вес среднего с учетом коэффициента Стьюдента.

$$H_{i_\alpha i_R}^{cp.} = \frac{\sum_{i=1}^{l_{i_\alpha i_R}} H_i^{Дн.}}{l_{i_\alpha i_R}}; \quad (Д.11)$$

$$\sigma_{i_{\alpha}i_R} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{l_{i_{\alpha}i_R}} (H_i^{Pe3.} - H_{i_{\alpha}i_R}^{cp.})^2}{l_{i_{\alpha}i_R} - 1}}, \quad (Д.12)$$

где $l_{i_{\alpha}i_R}$ – общее количество точек в ячейке ($i = 1 \dots l_{i_{\alpha}i_R}$).

Проверяется наличие грубых ошибок:

$$(H_i^{Pe3.} - H_{i_{\alpha}i_R}^{cp.})^{\max} \leq t_l \cdot \sigma_{i_{\alpha}i_R}, \quad (Д.13)$$

где t_l – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности 0,99 и числе степеней свободы $l_{i_{\alpha}i_R} - 1$.

Если найдена грубая ошибка, она отбрасывается и вычисления по формулам (Д.11) – (Д.13) повторяют.

Вычисляется СКО среднего и его вес:

$$\bar{\sigma}_{i_{\alpha}i_R} = \frac{\sigma_{i_{\alpha}i_R}}{\sqrt{l_{i_{\alpha}i_R}}}; \quad (Д.14)$$

$$P_{i_{\alpha}i_R} = \frac{1}{t_l \cdot (\bar{\sigma}_{i_{\alpha}i_R})^2}. \quad (Д.15)$$

Если точка попала в ячейку одна, то необходимо брать ее высоту как высоту среднюю для ячейки и минимальный из всех вес.

Д.2.6 В автоматическом режиме анализируется каждая ячейка на наличие грубой ошибки измерений. Сначала вычисляется площадь каждой ячейки:

$$S_{i_R i_R - 1} = SH_{\alpha} \cdot (R_{i_R} - R_{i_R - 1}). \quad (Д.16)$$

Масштабируются все СКО площадью ячеек:

$$\sigma'_{i_{\alpha}i_R} = \frac{S_{N_R N_R - 1}}{S_{i_R i_R - 1}} \cdot \sigma_{i_{\alpha}i_R}, \quad (Д.17)$$

где $S_{i_R i_R - 1}$ – площадь текущей ячейки;

$S_{N_R N_R - 1}$ – площадь последней ячейки наиболее близкой к прибору.

Находится минимальное СКО $\sigma'_{i_{\alpha}i_R}$ и сравнивается с ним остальные СКО по F -критерию.

$$F_{i_{\alpha}i_R} = \frac{\sigma'^2_{i_{\alpha}i_R}}{\sigma_{\min}^2} > F_q, \quad (Д.18)$$

где F_q – критическое число, выбираемое из таблиц F -критерия по числу степеней свободы каждой из ячеек и доверительной вероятности 0,99.

Если они равноточны, то на этом анализ заканчивается. Если нет, то для ячеек, для которых критерий не выполняется, отбрасывается точка, которая имеет максимальное отклонение от среднего. Снова вычисляется средняя высота ячейки и ее СКО $\sigma'_{i_{\alpha}i_R}$ и проверяется на равноточность. Эта проверка выполняется в ручном режиме.

Д.2.7 В ячейках, в которых есть только 1, 2 или 3 точки находится усредненная ее высота по высотам этих точек и по восьми соседним ячейкам как средневзвешенное значение, а также СКО единицы веса и СКО среднего, пока не заполнятся все ячейки. Ячейки, где нет точек – пропускаются (сектора в которых по каким либо причинам тахеометр или сканер не смог измерить координаты ни одной точки).

$$\sigma_{i_{\alpha}i_R}^{cp.} = \frac{\sigma_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}}{k}; \quad (Д.19)$$

$$P_{i_{\alpha}i_R} = \frac{1}{t_k \cdot (\sigma_{i_{\alpha}i_R}^{cp.})^2}; \quad (Д.20)$$

$$\bar{H}_{i_{\alpha}i_R} = \frac{\sum_{i=1}^{l_{i_{\alpha}i_R}} P_{i_{\alpha}i_R} H_i^{Дн.} + \sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1} \cdot H_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}^{cp.}}{\sum_{i=1}^{l_{i_{\alpha}i_R}} P_{i_{\alpha}i_R} + \sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}}, \quad (Д.21)$$

где k – количество заполненных вокруг ячеек;

t_k – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы $k-1$;

$P_{i_{\alpha}i_R}$ – вес точек внутри ячейки, вычисленный по СКО высот в соседних.

Точнее $i_c = i_{\alpha} + (-1; 0; +1)$ и $i_c = i_R + (-1; 0; +1)$, кроме, $i_c = i_{\alpha}$ и $i_c = i_R$.

Вес усредненной высоты равен:

$$\bar{P}_{i_{\alpha}i_R} = \sum_{i=1}^{l_{i_{\alpha}i_R}} P_{i_{\alpha}i_R} + \sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}. \quad (Д.22)$$

СКО единицы веса высоты ячейки равно:

$$\mu_{i_{\alpha}i_R} = \sqrt{\frac{\sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1} \cdot (H_i^{Дн.} - \bar{H}_{i_{\alpha}i_R})^2 + \sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1} \cdot (H_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}^{cp.} - \bar{H}_{i_{\alpha}i_R})^2}{k-1}}; \quad (Д.23)$$

$$\bar{\sigma}_{i_{\alpha}i_R} = \frac{\mu_{i_{\alpha}i_R}}{\sqrt{\bar{P}_{i_{\alpha}i_R}}}; \quad (Д.24)$$

$$P_{i_{\alpha}i_R} = \frac{1}{t_k \cdot (\bar{\sigma}_{i_{\alpha}i_R})^2}. \quad (Д.25)$$

Д.2.8 В ячейках, в которых отсутствуют точки, находится усредненная ее высота по восьми соседним ячейкам как средневзвешенное значение, а также СКО единицы веса и СКО среднего, пока не заполнятся все ячейки. Если число заполненных рядом ячеек меньше пяти, то эта ячейка пропускается. В следующих приближениях каждая ячейка анализируется снова. Приближения выполняются до тех пор, пока не заполнятся все ячейки.

$$\bar{H}_{i_{\alpha}i_R} = \frac{\sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1} \cdot H_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}^{cp.}}{\sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}}, \quad (Д.26)$$

где k – количество заполненных вокруг ячеек от 5 до 8.

Точнее $i_c = i_{\alpha} + (-1; 0; +1)$ и $i_c = i_R + (-1; 0; +1)$, кроме, $i_c = i_{\alpha}$ и $i_c = i_R$.

Вес усредненной высоты равен:

$$\bar{P}_{i_{\alpha}i_R} = \sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}. \quad (Д.27)$$

СКО единицы веса высоты ячейки равно:

$$\mu_{i_{\alpha}i_R} = \sqrt{\frac{\sum_{i_k=1}^k P_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1} \cdot (H_{i_{\alpha} \pm 1 i_R \pm 1}^{cp.} - \bar{H}_{i_{\alpha}i_R})^2}{k-1}}; \quad (\text{Д.28})$$

$$\bar{\sigma}_{i_{\alpha}i_R} = \frac{\mu_{i_{\alpha}i_R}}{\sqrt{P_{i_{\alpha}i_R}}}; \quad (\text{Д.29})$$

$$P_{i_{\alpha}i_R} = \frac{1}{t_k \cdot (\bar{\sigma}_{i_{\alpha}i_R})^2}. \quad (\text{Д.30})$$

Д.2.9 Для использования весов, при вычислении интервальных вместимостей, масштабировать (привести) их так, что бы сумма приведенных весов была равна единице, по формуле:

$$P'_{i_{\alpha}i_R} = \frac{P_{i_{\alpha}i_R}}{\sum_{i_{\alpha}=1}^{N_{\alpha}} \sum_{i_R=1}^{N_R} P_{i_{\alpha}i_R}}. \quad (\text{Д.31})$$

Д.2.10 Находится минимальная и максимальная средняя высота из всех ячеек. Начинается вычисление вместимости днища от минимальной высоты до максимальной, для чего подсчитывается вместимость каждой ячейки как ее площадь на разность максимальной высоты и средней высоты ячейки:

$$\Delta V_{i_R i_R - 1} = S_{i_R i_R - 1} \cdot (H_{i_{\alpha} i_R}^{cp.} - H_{i_{\alpha} i_R}^{\max.}) \cdot P'_{i_{\alpha} i_R}; \quad (\text{Д.32})$$

$$\Delta V_{i_R i_R - 1} = S_{i_R i_R - 1} \cdot (\bar{H}_{i_{\alpha} i_R} - H_{i_{\alpha} i_R}^{\max.}) \cdot P'_{i_{\alpha} i_R}. \quad (\text{Д.33})$$

Д.2.11 Вычисляется СКП вместимости каждой ячейки.

$$\sigma(\Delta V_{i_R i_R - 1}) = S_{i_R i_R - 1} \cdot \bar{\sigma}_{i_{\alpha} i_R} \cdot P'_{i_{\alpha} i_R}. \quad (\text{Д.34})$$

Д.2.12 Вычисляют вместимость неконтролируемого остатка V_o в метрах кубических для всех отрицательных значений высоты H_f^- до высоты $H_0 = 0$ (вместимость резервуара ниже высоты точки касания днища грузом рулетки, которая равняется нулю):

$$H_{i_{\alpha} i_R}^{cp.} \leq H_0 = 0; \quad \bar{H}_{i_{\alpha} i_R} \leq H_0 = 0; \quad V_o = \sum_{f=0}^{f=H_{\min}^{\partial n.}} (\Delta V_{i_R i_R - 1})_f \cdot 10^{-9}; \quad (\text{Д.35})$$

$$\sigma(V_o) = \sqrt{\sum_{f=0}^{f=H_{\min}^{\partial n.}} (\sigma(\Delta V_{i_R i_R - 1}))_f^2}. \quad (\text{Д.36})$$

Д.2.13 Интервальные вместимости V_g для градуировочной таблицы вычисляются для высоты (уровня наполнения), кратной 1 см, путем суммирования интервальных вместимостей, которые отвечают разности высоты 1 мм в метрах кубических для всех отрицательных и положительных значений высоты H_f до предельной высоты $H_f = H_{\max}$ (общая вместимость резервуара) по формулам:

$$\begin{aligned} H_{i_{\alpha} i_R}^{cp.} &= H_f \quad \text{или} \quad \bar{H}_{i_{\alpha} i_R} = H_f \\ V_1 &= V_o + \sum_{f=1}^{10} (\Delta V_{i_R i_R - 1})_f \cdot 10^{-9}, \\ V_g &= V_{g-1} + \sum_{f=(g-1) \cdot 10 + 1}^{f=g \cdot 10} (\Delta V_{i_R i_R - 1})_f \cdot 10^{-9}, \end{aligned} \quad (\text{Д.37})$$

$$\sigma(V_g) = \sqrt{\sigma(V_o)^2 + \sigma(V_{g-1})^2 + \sum_{f=(g-1) \cdot 10 + 1}^{f=g \cdot 10} (\sigma(\Delta V_{i_R i_R - 1}))_f^2}, \quad (\text{Д.38})$$

где g – номер интервальной вместимости градуировочной таблицы, который отвечает высоте наполнения $H_g = g$ выраженной в сантиметрах.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ
ВМЕСТИМОСТИ РЕЗЕРВУАРА

Е.1 Изложенная в данном стандарте методика поверки вертикального цилиндрического резервуара геометрическим методом с применением геодезических приборов реализует косвенный метод измерений их вместимости. Поэтому, математическая модель измерений вместимости резервуара с целью ведения долговременного внутреннего учета и инвентаризации количества жидкости в нем записывается на основании формулы (12.56), как для суммы интервальных вместимостей резервуара, которые вычисляются по формуле:

$$V_f^{Pe3} = V_{Hf} + \Delta V_f^g + \Delta V_f^{\partial n} + \Delta V_f^W + \Delta V_f^t + \Delta V_f^{nax} + \Delta V_f^{onop} + \Delta V_f^{nn} + \Delta V_{\Sigma f}^{\partial em}. \quad (E.1)$$

Математическую модель измерений вместимости резервуара с целью ведения оперативного учета при приеме или сдаче жидкости и проведении коммерческих операций с ней записывают на основании формулы (12.57), как для суммы интервальных вместимостей резервуара, которые вычисляются по формуле:

$$V_f^{Pe3} = V_{Hf} + \Delta V_f^g + \Delta V_f^W + \Delta V_f^t + \Delta V_f^{nax} + \Delta V_{\Sigma f}^{\partial em}, \quad (E.2)$$

где V_{Hf} – неисправленная вместимость резервуара до высоты H_f ;

ΔV_f^g – поправка к вместимости резервуара, учитывающая радиальные отклонения точек на его поверхности от аппроксимирующего цилиндра (поправка, учитывающая рельеф);

$\Delta V_f^{\partial n}$ – поправка учитывающая неровности днища резервуара в нижней его части;

ΔV_f^W – поправка учитывающая деформацию стенки резервуара под влиянием веса жидкости, которая будет храниться в резервуаре;

ΔV_f^t – поправка учитывающая отклонение температуры стенки резервуара при поверке от 20 °С;

ΔV_f^{nax} – поправка учитывающая степень наклона η поясов резервуара к горизонту и нахлест;

ΔV_f^{onop} – поправка учитывающая объем жидкости, вытесненной опорами плавающего покрытия, равна 0;

ΔV_f^{nn} – поправка учитывающая объем жидкости, вытесненной плавающим покрытием, равна 0;

$\Delta V_{\Sigma f}^{\partial em}$ – поправка, обусловленная наличием внутренних деталей и оборудования.

Бюджет неопределенности измерений вместимости резервуара до высоты H_f в соответствии с формулой (E.1) приведен в таблице Е.1.

Е.2 Неисправленную вместимость резервуара V_{Hf} до высоты H_f вычисляют по формуле:

$$V_{Hf} = \pi \cdot R^2 \cdot \sqrt{1 + \eta^2} \cdot H_f, \quad (E.3)$$

где R – средний радиус резервуара;

η – степень наклона оси резервуара.

Коэффициент чувствительности к неопределенности среднего радиуса резервуара вычисляется по формуле:

$$c_{1f} = \frac{\partial V_{Hf}}{\partial R} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sqrt{1 + \eta^2} \cdot H_f \approx 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f. \quad (\text{E.4})$$

Стандартную неопределенность $u_A(V_{Hf})$ неисправленной вместимости резервуара V_{Hf} до высоты H_f с учетом общих формул (В.23) и (В.24) вычисляют по формуле:

$$u_A(V_{Hf}) = c_{1f} \cdot u_A(R) = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f \cdot u_A(R). \quad (\text{E.5})$$

Стандартную неопределенность, вычисленную по формуле (E.5) по отношению к вместимости резервуара до высоты H_f вычисляют по формуле:

$$\frac{u(V_{Hf})}{V_{Hf}} = \frac{2 \cdot u_A(R)}{R}. \quad (\text{E.6})$$

Е.3 Модель измерений неисправленной вместимости резервуара V_{Hf} составлена так, что степень наклона оси резервуара из нее исключена (см. формулы (Г.3) и (12.30)). Тем не менее, стандартная неопределенность наклона оси есть влияющей величиной.

Коэффициент чувствительности к наклону оси резервуара вычисляется по формуле:

$$c_{2f} = \frac{\partial V_{Hf}}{\partial \eta} = -\pi \cdot R^2 \cdot \frac{\eta}{\sqrt{(1 + \eta^2)}} \cdot H_f. \quad (\text{E.7})$$

Стандартную неопределенность $u_\eta(V_{Hf})$ неисправленной вместимости резервуара V_{Hf} до высоты H_f , с учетом общих формул (В.23) и (В.24), вычисляют по формуле:

$$u_\eta(V_{Hf}) = c_{2f} \cdot \sigma_\eta = \pi \cdot R^2 \cdot H_f \cdot \frac{\eta}{\sqrt{(1 + \eta^2)}} \cdot u_A(\eta) \quad (\text{E.8})$$

или

$$u_\eta(V_{Hf}) = c_{2f} \cdot \sigma_\eta \approx \pi \cdot R^2 \cdot H_f \cdot \eta \cdot u_A(\eta). \quad (\text{E.9})$$

Стандартную неопределенность, вычисленную по формуле (E.9), по отношению к вместимости резервуара до высоты H_f , вычисляют по формуле:

$$\frac{u_\eta(V_{Hf})}{V_{Hf}} = \frac{\eta}{\sqrt{(1 + \eta^2)}} \cdot u_A(\eta) \approx \eta \cdot u_A(\eta). \quad (\text{E.10})$$

Е.4 Поправка к вместимости резервуара учитывающая радиальные отклонения точек на его поверхности от аппроксимирующего цилиндра ΔV_f^g (поправка учитывающая рельеф стенки) вычисляется по формуле:

$$\Delta V_f^g = S_f \cdot \bar{\vartheta}_f = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f \cdot \sqrt{(1 + \eta^2)} \cdot \bar{\vartheta}_f, \quad (\text{E.11})$$

где S_f – площадь поверхности резервуара до высоты H_f ,

$\bar{\vartheta}_f$ – среднее радиальное отклонение точек поверхности до высоты H_f .

Коэффициенты чувствительности вычисляют по формулам:

$$c_{3f} = \frac{\partial \Delta V_f^g}{\partial S_f} = \bar{\vartheta}_f; \quad c_{4f} = \frac{\partial \Delta V_f^g}{\partial \bar{\vartheta}_f} = S_f. \quad (\text{E.12})$$

При математически строгом решении задачи вычисления неопределенности поправки ΔV_f^g , следовало бы воспользоваться общей формулой (Г.24). Учитывая то, что среднее радиальное отклонение точек поверхности резервуара от аппроксимирующего цилиндра, как правило, не превышает нескольких десятков миллиметров и степень наклона резервуара не может быть большой, влиянием неопределенности наклона резервуара и его радиуса на стандартную

неопределенность вычисления площади S_f поверхности резервуара до высоты H_f можно пренебречь.

Стандартную неопределенность $u_A(\bar{g}_f)$ среднего радиального отклонения стенки резервуара до высоты H_f , которая входит в формулу (Е.11), вычисляют по формуле:

$$u_A(\bar{g}_f) = \sigma_{\bar{g}_f} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_f} (g_i - \bar{g}_f)^2}{n_f \cdot (n_f - 1)}}, \quad (\text{Е.13})$$

где $\bar{g}_f = \frac{\sum_{i=1}^{n_f} g_i}{n_f}$ – среднее радиальное отклонение резервуара до высоты H_f ,

n_f – количество координированных точек на поверхности резервуара (что тоже самое – радиальных отклонений) до высоты H_f .

Стандартную неопределенность $u(\Delta V_f^g)$ поправки к вместимости резервуара, учитывающей радиальные отклонения точек на его поверхности от аппроксимирующего цилиндра ΔV_f^g до высоты H_f , вычисляют по формуле:

$$u(\Delta V_f^g) = c_{4f} \cdot \sigma_{\bar{g}_f} = S_f \cdot \sigma_{\bar{g}_f}. \quad (\text{Е.14})$$

Стандартную неопределенность $u(\Delta V_f^g)$, вычисленную по формуле (Е.14), по отношению к вместимости резервуара до высоты H_f , вычисляют по формуле:

$$\frac{u(\Delta V_f^g)}{V_{Hf}} = \frac{S_f \cdot \sigma_{\bar{g}_f}}{V_{Hf}} = \frac{2 \cdot \sqrt{(1 + \eta^2)} \cdot \sigma_{\bar{g}_f}}{R} \approx \frac{2 \cdot u_A(\bar{g}_f)}{R}. \quad (\text{Е.15})$$

Для вычисления стандартной неопределенности $u_A(\bar{g}_f)$ для поясов резервуара с исключением нахлеста использованы формулы (Г.19) – (Г.22), которые есть эквивалентом формулы (Е.14) с учетом формулы (Г.24).

Е.5 Поправка учитывающая неровности днища резервуара в нижней его части $\Delta V_f^{\text{дн.}}$ вводится по результатам сканирования днища тахеометром или сканером или его поверки объемным методом. При использовании объемного метода для поверки днища резервуара расширенную неопределенность его вместимости можно принять равной от 0,2 % до 0,5 %.

По результатам экспериментальных исследований приблизительно такую относительную стандартную неопределенность обеспечивает расчет по результатам сканирования поверхности днища, когда количество точек на поверхности не менее одной на один квадратный метр поверхности днища.

Относительная стандартная неопределенность поправки учитывающей неровности днища, по отношению к вместимости резервуара до высоты H_f , вычисляется по формуле:

$$\frac{u(\Delta V_f^{\text{дн.}})}{V_{Hf}} = \frac{V^{\text{дн.}} \cdot U_\delta(V^{\text{дн.}})}{V_{Hf} \cdot t_U \cdot 100\%}. \quad (\text{Е.16})$$

где $V^{\text{дн.}}$ – вместимость неровностей днища;

$U_\delta(V^{\text{дн.}})$ – расширенная относительная неопределенность вместимости неровностей днища;

$t_U = 1,96$ – коэффициент распределения Лапласа (коэффициент охвата) при доверительной вероятности $P = 0,95$.

При небольшой вместимости днища (форма близкая к плоскости) его неопределенность может быть в пределах от 0,5 % до 10 %.

Если измерения выполнялись, по каким-то причинам, снаружи, то можно использовать результаты предыдущей поверки. Вопрос увеличения неопределенности вместимости неровностей днища решается индивидуально.

Отдельному анализу подлежит неопределенность вызванная деформацией днища под весом налитой в резервуар жидкости. В случае применения объемного метода поверки днища, эта неопределенность может быть значительно уменьшена.

Е.6 Поправка учитывающая деформацию стенки резервуара под влиянием веса жидкости, которая будет храниться в резервуаре ΔV_f^W , по отношению к общей вместимости резервуара не превышает 0,1 % – 0,2 %, но вводится обязательно, так как имеет систематический характер. На основании формулы (12.37) получаем формулу для вычисления относительной стандартной неопределенности поправки ΔV_f^W по отношению к ее величине до высоты H_f .

$$\frac{u(\Delta V_f^W)}{\Delta V_f^W} = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(g)}{g}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_{xp.})}{\rho_{xp.}}\right)^2 + \left(\frac{u(E)}{E}\right)^2 + \left(\frac{u(\delta^{cm.})}{\delta^{cm.}}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot u(R)}{R}\right)^2}, \quad (\text{E.17})$$

где $\frac{u(g)}{g}$ – относительная стандартная неопределенность ускорения свободного падения (максимальное значение 0,27 % на уровне моря и еще дополнительно 0,03 % на каждые 1000 м увеличения высоты над его уровнем);

$\frac{u(\rho_{xp.})}{\rho_{xp.}}$ – относительная стандартная неопределенность плотности жидкости, которая хранится в резервуаре при эксплуатации;

$\frac{u(E)}{E}$ – относительная стандартная неопределенность модуля упругости материала;

$\frac{u(\delta^{cm.})}{\delta^{cm.}}$ – относительная стандартная неопределенность толщины стенки;

$\frac{u(R)}{R}$ – относительная стандартная неопределенность радиуса резервуара.

Если относительная расширенная неопределенность этой поправки не превышает 5 – 10 %, то относительная стандартная неопределенность интервальных вместимостей резервуара по этой причине не будет превышать 0,01 %. Бюджет неопределенности этой поправки приведен в таблице Е.3.

Е.7 Поправку ΔV_f^t учитывающую отклонение средней температуры стенки резервуара при поверке от температуры, к которой приводится градуировочная таблица резервуара, например, 20 °С вычисляют по формуле:

$$\Delta V_f^t = 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H_f \cdot \lambda \cdot \Delta t, \quad (\text{E.18})$$

где λ – температурный линейный коэффициент расширения материала (для стали – $11,5 \cdot 10^{-6}$ 1/°С);

Δt – среднее отклонение температуры стенки резервуара при поверке от 20 °С.

Коэффициент чувствительности к неопределенности измерения отклонения температуры стенки от 20 °С вычисляют по формуле:

$$c_{5f} = \frac{\partial \Delta V_f^t}{\partial \Delta t} = 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H_f \cdot \lambda. \quad (\text{E.19})$$

Влиянием неопределенности радиуса и температурного линейного коэффициента расширения материала можно пренебречь.

Стандартная неопределенность $u(\Delta V_f^t)$ поправки учитывающей отклонение температуры стенки резервуара при поверке от 20 °С ΔV_f^t вычисляют по формуле:

$$u(\Delta V_f^t) = c_{5f} \cdot u_{\Delta t} = 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H_f \cdot \lambda \cdot u_{\Delta t}. \quad (\text{E.20})$$

Стандартную неопределенность, вычисленную по формуле (E.20), по отношению к вместимости резервуара до высоты H_f вычисляют по формуле:

$$\frac{u(\Delta V_f^t)}{V_{Hf}} = 2 \cdot \lambda \cdot u_{\Delta t}. \quad (\text{E.21})$$

Е.8 Поправка учитывающая степень наклона η поясов резервуара к горизонту и нахлест $\Delta V_f^{нах.}$ возникает из-за того, что место соединения поясов могут быть существенно наклонены к горизонту и в этом месте поверхность жидкости находится одновременно в двух поясах, листы металла которых накладываются один на другой. Поправка учитывает переход из одного пояса в другой. Она небольшая по величине и ее неопределенностью можно пренебречь.

Е.9 Поправка учитывающая наличие внутренних деталей и оборудования $\Delta V_{\Sigma f}^{dem.}$, вводится по методике, описанной в приложении Д. Вычисляются интервальные вместимости каждой детали цилиндрической или параллелепипедной формы от высоты нижней точки детали до высоты ее верхней точки. Интервальные вместимости каждой детали прибавляются, со своим знаком, к интервальным вместимостям резервуара. Формулы приложения Д имеют приближенный характер, но с достаточной точностью позволяют вычислить соответствующие поправки.

Относительная стандартная неопределенность поправки учитывающей наличие внутренних деталей и оборудования $\Delta V_{\Sigma f}^{dem.}$, по отношению к вместимости резервуара до высоты H_f , вычисляется по формуле:

$$\frac{u(\Delta V_{\Sigma f}^{dem.})}{V_{Hf}} = \frac{\Delta V_{\Sigma f}^{dem.} \cdot U_{\delta}(\Delta V_{\Sigma f}^{dem.})}{V_{Hf} \cdot t_U \cdot 100}, \quad (\text{E.22})$$

где $U_{\delta}(\Delta V_{\Sigma f}^{dem.})$ – расширенная относительная неопределенность измерения объема внутренних деталей.

Е.10 Основное влияние на неопределенность измерений вместимости резервуара оказывает неопределенность измерений его среднего радиуса. По Е.2 вычисляется стандартная неопределенность по типу А среднего радиуса статистическим методом. Она складывается из неопределенности изготовления поверхности резервуара и неопределенности геодезических измерений на эту поверхность.

Неопределенность измерений радиуса включает неопределенность измерения толщины стенки резервуара и толщины слоя краски, если измерения выполнялись снаружи. Для упрощения вычисления неопределенности измерений вместимости к неопределенности измерений радиуса также следует прибавить неопределенность константы (постоянной поправки) при измерении длины от геодезического прибора до поверхности резервуара и неопределенность измерения метеорологических параметров атмосферы. Математическое ожидание отклонений этих величин от действительного значения равняется нулю, но неопределенность нулю не равняется.

Е.10.1 Стандартная неопределенность по типу В среднего радиуса резервуара, вызванная неопределенностью измерения толщины стенки, толщины слоя краски, постоянной поправки к измеренным наклоненным расстояниям от тахеометра или сканера до точки на поверхности резервуара и измерения метеорологических параметров атмосферы, вычисляют по формулам:

– если измерения выполняли снаружи:

$$u_B(R) = \sqrt{u^2(\delta_s^{cm.}) + u^2(\delta_s^{kp.}) + u^2(D) + u^2(A)}; \quad (\text{E.23})$$

– если измерения выполняли изнутри:

$$u_B(R) = \sqrt{u^2(D) + u^2(A)}; \quad (\text{E.24})$$

где $u(\delta_s^{cm.}) = \frac{U(\delta_s^{cm.})}{t_U}$ – стандартная неопределенность измерения толщины стенки;

$u(\delta_s^{kp.}) = \frac{U(\delta_s^{kp.})}{t_U}$ – стандартная неопределенность измерения толщины слоя краски;

$u(D) = \frac{U(D)}{t_U}$ – стандартная неопределенность постоянной поправки к измеренным наклон-

ным расстояниям от тахеометра или сканера до точки на поверхности резервуара, полученная по результатам метрологических исследований;

$u(A)$ – стандартная неопределенность поправки, которая учитывает неопределенность измерения метеорологических параметров атмосферы;

$t_U = 1,96$ – коэффициент распределения Лапласа (коэффициент охвата) при доверительной вероятности $P = 0,95$;

$U(\delta_s^{cm.})$, $U(\delta_s^{kp.})$ – расширенная неопределенность измерения толщины стенки пояса резервуара и слоя краски пояса резервуара;

$U(D)$ – расширенная неопределенность постоянной поправки к измеренным наклонным расстояниям от тахеометра или сканера до точки на поверхности резервуара, полученные по результатам метрологических исследований.

Е.10.2 Приближенная формула для вычисления неопределенности поправки учитывающей отклонение средней температуры и давления от введенных в тахеометр для длины световой волны 630 нм, имеет вид:

$$u(A) = R \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{(0,27)^2 \cdot u(P)^2 + (0,94)^2 \cdot u(T)^2}, \quad (\text{E.25})$$

где R – радиус резервуара;

$u(T)$, $u(P)$ – стандартная неопределенность измерения температуры в °К и давления в гПа.

Из формулы (E.25) следует, что при введении в тахеометр значений температуры и давления, измеренных с точностью, приведенной в табл. 3, влиянием неопределенности измерения температуры и давления на радиус резервуара можно пренебречь.

При использовании сканера введение поправки в измерения длины учитывающей атмосферные условия в процессе измерений не предусмотрено. Если для введения поправки в радиус учитывающей атмосферные условия использовать формулу (12.17), то соответствующей неопределенностью можно пренебречь.

Предельное значение поправки учитывающей атмосферные условия на высоте 1000 метров над уровнем моря, то есть учитывающей отклонение фактического давления от давления на уровне моря, в расстоянии 10 м будет 0,3 мм и при отклонении температуры на 30 °С от стандартных условий в 20 °С тоже будет

0,3 мм, что достигает 0,003 % от измеренного расстояния.

Е.10.3 Относительная стандартная неопределенность по типу В измерения вместимости резервуара, вычисленная по формуле (E.23) или (E.24), по отношению к вместимости резервуара до высоты H_f , вычисляется по формулам аналогичным (E.5) и (E.6):

$$\frac{u_B(V_{Hf})}{V_{Hf}} = \frac{2 \cdot u_B(R)}{R}. \quad (\text{E.26})$$

Е.11 Бюджет неопределенности измерения вместимости вертикального цилиндрического резервуара приведен в таблицах Е.1 – Е.4.

Таблица Е.1 – Бюджет относительной неопределенности измерений вместимости вертикального цилиндрического резервуара до текущей высоты уровня жидкости H_f

Наименование входной величины X_i	Оценка входной величины x_i	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность, $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности, C_i	Вклад неопределенности $C_i \times u(x_i)$
Неисправленная вместимость резервуара до текущей высоты уровня жидкости H_f	V_{Hf}	A (см. табл. Е.2)	Нормальное	$u_A(V_{Hf}) = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f \cdot u_A(R)$	$\frac{2}{R}$	$\frac{2 \cdot u_A(R)}{R}$
		B (см. табл. Е.2)	Нормальное	$u_B(V_{Hf}) = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f \cdot u_B(R)$	$\frac{2}{R}$	$\frac{2 \cdot u_B(R)}{R}$
		A (см. табл. Е.2)	Нормальное	$u_\eta(V_{Hf}) = \pi \cdot R^2 \cdot H_f \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \cdot u_A(\eta)$	$\frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \approx \eta$	$\eta \cdot u_A(\eta)$
Поправка, учитывающая радиальные отклонения точек на поверхности	ΔV_f^g	A	Нормальное	$u(\Delta V_f^g) = S_f \cdot \sigma_{\bar{g}_f} =$ $= S_f \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_f} (g_i - \bar{g}_f)^2}{n_f \cdot (n_f - 1)}}$	$\frac{2}{R}$	$\frac{2 \cdot u_A(\bar{g}_f)}{R}$
Поправка, учитывающая неровности днища	$\Delta V_f^{\partial n.}$	B	Нормальное	$u(\Delta V_f^{\partial n.}) = V^{\partial n.} \cdot \frac{U_\delta(V^{\partial n.})}{t_U \cdot 100}$	$\frac{1}{V_{Hf}}$	$\frac{u(\Delta V_f^{\partial n.})}{V_{Hf}}$
Поправка, учитывающая деформацию стенки резервуара под влиянием веса жидкости	ΔV_f^W	Суммарная (см. табл. Е.3)	Нормальное	$u(\Delta V_f^W)$	$\frac{1}{V_{Hf}}$	$\frac{u(\Delta V_f^W)}{V_{Hf}}$
Поправка, учитывающая отклонение средней температуры стенки от 20 °C	ΔV_f^t	B	Нормальное	$u(\Delta V_f^t) = 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H_f \cdot \lambda \cdot u_{\Delta t}$	$2 \cdot \lambda$	$2 \cdot \lambda \cdot u_{\Delta t}$
Поправка, учитывающая объем внутренних деталей	$\Delta V_{\Sigma f}^{\partial em.}$	B	Нормальное	$u(\Delta V_{\Sigma f}^{\partial em.}) = \Delta V_{\Sigma f}^{\partial em.} \cdot \frac{U_\delta(V_{\Sigma f}^{\partial em.})}{t_U \cdot 100}$	$\frac{1}{V_{Hf}}$	$\frac{u(\Delta V_{\Sigma f}^{\partial em.})}{V_{Hf}}$

Наименование входной величины X_i	Оценка входной величины x_i	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность, $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности, C_i	Вклад неопределенности $C_i \times u(x_i)$
Относительная суммарная и расширенная неопределенность измерения вместимости резервуара до текущей высоты уровня жидкости H_f				$\frac{u_c(V_f^{Pez.})}{V_f^{Pez.}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_{if} \cdot u(x_{if}))^2}$ $U_{\delta}(V_f^{Pez.}) = k \cdot \frac{u_c(V_f^{Pez.})}{V_f^{Pez.}}$ $k=2$		

Неисправленная вместимость резервуара, все поправки к ней и их неопределенности рассчитываются до текущей высоты уровня жидкости H_f . В графе 5 «Стандартная неопределенность, $u(x_i)$ » приведены формулы для вычисления относительных значений неопределенности неисправленной вместимости и поправок к ней, а коэффициенты чувствительности (столбец 6) и вклад неопределенности (столбец 7) приведены в относительной мере к вместимости $V_{Hf} = \pi \cdot R^2 \cdot H_f$.

Таблица Е.2 – Бюджет неопределенности измерений неисправленной вместимости резервуара до текущей высоты уровня жидкости H_f

Наименование входной величины X_i	Оценка входной величины x_i	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность, $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности, C_i	Вклад неопределенности $C_i \times u(x_i)$
Средний радиус резервуара	R	A	Нормальное	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^k \sum_{j=1}^n (g_{js}^{Pez.} - g_{ps}^{cp.})^2}{n-m-k+1}}$ $u_A(R) = \sigma \cdot \sqrt{Q_{33}};$	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f$	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f \cdot u_A(R)$
Средний радиус резервуара	R	B	Нормальное	$u_B(R) = \sqrt{u^2(\delta_s^{cm}) + u^2(\delta_s^{kp}) + u^2(D) + u^2(A)}$	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f$	$2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_f \cdot u_B(R)$
Наименование входной величины X_i	Оценка входной величины x_i	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность, $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности, C_i	Вклад неопределенности $C_i \times u(x_i)$

Степень наклона оси резервуара	η	A	Нормальное	$u_A(\eta) = \frac{\sigma}{\eta} \cdot \sqrt{\eta_x^2 \cdot Q_{11} + \eta_y^2 \cdot Q_{22} + 2\eta_x \cdot \eta_y \cdot Q_{12}}$	$-\pi \cdot R^2 \cdot H_f$	$\pi \cdot R^2 \cdot H_f \cdot \eta \cdot u_A(\eta)$
Относительная суммарная неопределенность не исправленной вместимости резервуара				$u_c(V_{Hf}) = \sqrt{C_1^2 \cdot u_A(R)^2 + C_2^2 \cdot u_B(R)^2 + C_3^2 \cdot u_A(\eta)^2}$		

Таблица Е.3 – Бюджет относительной неопределенности поправки учитывающей деформацию стенки резервуара под влиянием веса жидкости до текущей высоты уровня жидкости H_f

Наименование входной величины X_i	Оценка входной величины x_i	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность, $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности, C_i	Вклад неопределенности $C_i \times u(x_i)$
Ускорение свободного падения	g	B	Прямоугольное	$u(g) = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{2\sqrt{3}}$	$\frac{2}{g}$	$\frac{2 \cdot u(g)}{g}$
Плотность жидкости, которая хранится в резервуаре (по данным лаборатории)	$\rho_{xp.}$	B	Нормальное	$u(\rho_{xp.}) = \frac{\rho_{xp.\max} - \rho_{xp.\min}}{2 \cdot t_U}$	$\frac{2}{\rho_{xp.}}$	$\frac{2 \cdot u(\rho_{xp.})}{\rho_{xp.}}$
Модуль упругости материала стенки	E	B	Прямоугольное	$u(E) = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2\sqrt{3}}$	$\frac{2}{E}$	$\frac{2 \cdot u(E)}{E}$
Толщина стенки	$\delta^{cm.}$	B	Нормальное	$u(\delta^{cm.}) = \frac{U(\delta^{cm.})}{t_U}$	$\frac{2}{\delta^{cm.}}$	$\frac{2 \cdot u(\delta^{cm.})}{\delta^{cm.}}$
Радиус резервуара	R	A	Нормальное	$u_c(R) = \sqrt{u_A(R)^2 + u_B(R)^2}$	$\frac{6}{R}$	$\frac{6 \cdot u(R)}{R}$
Относительная суммарная неопределенность поправки				$\frac{u(\Delta V_f^{Hf})}{\Delta V_f^{Hf}} = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(g)}{g}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_{xp.})}{\rho_{xp.}}\right)^2 + \left(\frac{u(E)}{E}\right)^2 + \left(\frac{u(\delta^{cm.})}{\delta^{cm.}}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot u(R)}{R}\right)^2}$		

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(справочное)

ФОРМА ЖУРНАЛА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Ж.1 Общие сведения

Регистрационный номер документа	Дата регистрации	Дата поверки

Тип резервуара	Номер резервуара	Температура воздуха, °C	Атмосферное давление, кПа

	Обозначение	Название	Организация-разработчик
Методика поверки			
Компьютерная программа			

Ж.1.1 Эталонный прибор

Название	
Тип, производитель	
Серийный номер	
Номер свидетельства о поверке	
Дата поверки	
Основные параметры	Пределы погрешности (неопределенность) измерения: углов ____, длин ____. Постоянная поправка к измеряемой длине ____ и ее пределы погрешности (неопределенность)

Ж.1.2 Вспомогательное оборудование

Название	Тип, производитель	Серийный номер	Номер свидетельства о поверке
...			

Ж.2 Результаты измерений параметров, введенных в компьютерную программу

Ж.2.1 Координаты точки измерения уровня и базовая высота резервуара

X_b , м	Y_b , м	Базовая высота резервуара, мм

Ж.2.2 Параметры жидкости при измерениях и хранении

Параметры жидкости, находящейся в резервуаре при измерениях				Средняя плотность жидкости в резервуаре при хранении, кг/м ³
наименование	плотность, кг/м ³	уровень, мм	давление, МПа	

Ж.2.3 Высота неконтролируемого остатка, низа (верха) сливного (всасывающего) патрубка, предельная (максимальная) высота и температура стенки резервуара

Высота, мм			Температура стенки резервуара, °С
неконтролируемого остатка	низа (верха) сливного (всасывающего) патрубка	предельная (максимальная)	

Ж.2.4 Параметры поясов резервуара

Номер пояса	Высота пояса, мм	Толщина стенки пояса, мм		Толщина слоя покрытия стенки пояса, мм		Высота и схема нахлеста поясов, мм
		значение	пределы погрешности (расширенная неопределен.)	значение	пределы погрешности (расширенная неопределен.)	
1						
2						
...	...	...		...		...

Примечание – В графе «Высота и схема нахлеста поясов» указывают значения со знаком
 “-” если текущий пояс включается в вышестоящий;
 “+” если текущий пояс включает в себя вышестоящий;
 0 при сварке встык

Ж.2.5 Внутренние детали и оборудование резервуара

Тип	Высота, мм	Длина, мм	Диаметр (ширина) мм	Угол наклона оси, °	Объем, м ³	Высота, мм	
						нижней границы	верхней границы

Примечание 1 – Длина детали «-» увеличивает вместимость резервуара.
 Примечание 2 – Длина детали «+» уменьшает вместимость резервуара.

Пределы допускаемой относительной погрешности (расширенная неопределенность) определения объема внутренних деталей резервуара ____ %.

Ж.3 Результаты вычислений

Ж.3.1 Параметры цилиндрической части резервуара

Название параметра резервуара	Численное значение	Пределы погрешности (расширенная неопреде- ленность)
Средний радиус цилиндрической части резервуара, приведенный к 20 °С	мм	мм
Общая высота цилиндрической части резервуара	мм	мм
Степень наклона оси резервуара		
Направление наклона оси резервуара		

Ж.3.2 Отклонения внутренней поверхности стенки цилиндрической части резервуара от правильной геометрической формы

Номера горизонталь- ных сечений	Отклонения внутренней поверхности стенки цилиндрической части резервуара от правильной геометрической формы, мм											
	Номера вертикальных сечений											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												
3												
...												

Среднее квадратическое радиальное отклонение (стандартная неопределенность)
реальной поверхности цилиндрической части резервуара от цилиндра ____ мм.

Ж.3.3 Общие параметры резервуара

Название параметра резервуара	Численное зна- чение	Пределы погрешности (расширенная неопреде- ленность)
Объем неконтролируемого остатка	м ³	-
Вместимость «мертвой» полости	м ³	%
Название параметра резервуара	Численное зна- чение	Пределы погрешности (расширенная неопреде- ленность)
Вместимость на предельную высоту наполне- ния резервуара (общая вместимость)	м ³	%

Ж.3.4 Параметры поясов резервуара

Номер пояса	Средние внутренние радиальные отклонения, мм		Внутренняя высота пояса, мм	Уровень наполнения, мм	Поправки на гидростатическое давление, м ³
	измеренное	исправленное за гидростат.			

Ж.4 Пределы допускаемой относительной погрешности (расширенная неопределенность) вместимости (результат расчета бюджета неопределенности по 12.9 и приложению Е)

Но- мер пояса	Среднее радиаль- ное от- клонение, мм	СКО (неопре- деленность) поверхности поясов резер- вуара, мм	Количе- ство то- чек в поя- се	СКО (неопре- деленность) среднего ради- ального откло- нения, мм	Пределы допускаемой относитель- ной погрешности (расширенная неопределенность) вместимости	
					пояса, %	резервуара на вы- соту пояса, %
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

ПРИЛОЖЕНИЕ И
(обязательное)
ФОРМА ГРАДУИРОВОЧНОЙ ТАБЛИЦЫ

Наименование организации, утверждающей градуировочную таблицу

СОГЛАСОВАНО:

Должность

_____/Инициалы и фамилия/

' ____ ' ____ 20__ г.

УТВЕРЖДАЮ:

Должность

_____/Инициалы и фамилия/

' ____ ' ____ 20__ г.

ГРАДУИРОВОЧНАЯ ТАБЛИЦА

(название, номер резервуара) _____

назначение: _____

организация-владелец _____

место установки резервуара
(место проведения измерений) _____

тип резервуара _____

номинальная вместимость _____

пределы допускаемой относительной погрешности (неопределенность) определения общей вместимости _____

базовая высота резервуара _____

предельная высота наполнения _____

вместимость на предельную высоту наполнения _____

участок ниже _____ мм для учетных и торговых операций не используется

вместимость «мертвой» полости _____

дата проведения поверки: _____

дата очередной поверки: _____

всего листов в градуировочной таблице

[illegible]

Поверитель _____ / _____ /
(подпись и оттиск клейма) (имя, фамилия)

ПРИЛОЖЕНИЕ К
(справочное)
ЭСКИЗ РЕЗЕРВУАРА

