Федеральное государственное унитарное предприятие
Всероссийский научно-исследовательский институт расходометрии
Государственный научный метрологический центр
(ФГУП ВНИИР - ГНМЦ)
Госстандарта России

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе
ФГУП ВНИИР - ГНМЦ
М.С. Немиров
04 2002 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕЗЕРВУАРЫ СТАЛЬНЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫЕ

Методика поверки геометрическим методом

МИ 2724 - 2002

Казань
2002 г.

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНА по поручению Открытого Акционерного Общества «ЛУКОЙЛ»
Федеральным государственным унитарным предприятием Всероссийским научно-исследовательским институтом расходометрии Государственным научным метрологическим центром (ФГУП ВНИИР - ГНМЦ) Госстандарта России

Доработана с учетом предложений дочерних обществ ОАО «ЛУКОЙЛ»

Исполнители:
От ФГУП ВНИИР - ГНМЦ Б.Г. Хусаинов, канд. тех.наук (руководитель темы),
М.М. Мигранов, канд. тех.наук , (исполнитель)

От ОАО «ЛУКОЙЛ» С.М. Рахметов, В.Ф. Лесничий, А.В. Беззубов, О.Я. Баранов.

2 УТВЕРЖДЕНА ФГУП ВНИИР - ГНМЦ Госстандарта России 10 апреля 2002 г.
3 ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ФГУП ВНИИМС - ГНМЦ Госстандарта России 15 апреля 2002 г.

4. ВВЕДЕНА ВПЕРВЫЕ

Настоящая рекомендация не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и (или) распространена без разрешения ОАО «Лукойл».

Содержание

	стр.
1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Определения	2
4 Метод поверки	5
5 Технические требования	6
5.1 Требования к погрешности измерений параметров резервуара	6
5.2 Средства поверки	6
6 Требования к организации проведения поверки	7
7 Требования к квалификации поверителей и требования безопасности	8
8 Условия поверки и подготовка к ней	9
9 Операции поверки	10
10 Проведение поверки резервуара	11
10.1 Внешний осмотр	11
10.2 Измерения внутреннего диаметра первого пояса	12
10.3 Измерения высоты и толщины стенки первого пояса	14
10.4 Измерения внутренних радиусов и высот вышестоящих поясов	14
10.5 Определение степени и угла направления наклона резервуара	20
10.6 Измерения координаты точки отсчета значений уровня жидкости и базовой высоты резервуара	21
10.7 Определение вместимости «мертвой» полости	21
10.8 Определение объемов внутренних деталей	22
10.9 Измерения базовой высоты резервуара	23
11 Обработка результатов измерений	24
12 Составление градуировочной таблицы	

стр.

13 Оформление результатов поверки 27

Приложение А Форма протокола поверки резервуара 29

Приложение Б Схемы измерений параметров резервуара при повеке 34

Приложение В Обработка результатов измерений 42

Приложение Г Форма журнала обработки результатов измерений 60

Приложение Д Основные технические требования к стальным вертикальным цилиндрическим теплоизолированным резервуарам, влияющие на их вместимость 63

Приложение Е Форма титульного листа градуировочной таблицы и форма градуировочной таблицы 66

Приложение Ж Библиография 68

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

РЕЗЕРВУАРЫ СТАЛЬНЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫЕ МИ 2724-2002

Методика поверки геометрическим методом

1 Область применения

Настоящая рекомендация распространяется на стальные вертикальные цилиндрические резервуары (далее - резервуары) номинальной вместимостью 100 - 50000 $м^3$, теплоизолированные, наземного расположения, закрытые, с кровлей, предназначенные для проведения государственных учетных и торговых операций , взаимных расчетов между поставщиком и потребителем, а также для учета нефти и нефтепродуктов при хранении и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Настоящая рекомендация разработана с учетом требований МР71 МОЗМ.

2 Нормативные ссылки

В настоящей рекомендации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.570-2000 ГСИ. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки

ГОСТ 12.0.004 - 90 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.011-87 ССБТ. Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний

ГОСТ 12.2.004-75 ССБТ. Машины и механизмы специальные для трубопроводного строительства. Требования безопасности

ГОСТ 12.4.137-87 Обувь специальная кожаная для защиты от нефти, нефтепродуктов, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия

ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия

ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 7502-89 Рулетки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 10528-90 Нивелиры. Общие технические условия

ГОСТ 10529-96 Теодолиты. Общие технические условия

ГОСТ 12971-67 Таблички прямоугольные для машин и приборов. Размеры

ГОСТ 13837-79 Динамометры общего назначения. Технические условия

ГОСТ 27574-87 Костюмы женские для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Технические условия

ГОСТ 27575-87 Костюмы мужские для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Технические условия

ГОСТ 28498-90 Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. Методы испытаний

3 Определения

В настоящей рекомендации применяют следующие термины с соответствующими определениями :

3.1 **резервуар стальной вертикальный цилиндрический теплоизолированный** : Стационарная мера вместимости, наружная поверхность которой покрыта слоем теплоизоляции, с индивидуальной градуировочной таблицей, предназначенная для хранения нефти и нефтепродуктов и измерений их объема (массы) совместно со средствами измерений уровня, плотности и температуры.

3.2 **поверка резервуара** : Совокупность операций, выполняемых органами Государственной метрологической службы или аккредитованными на право поверки метрологическими службами юридических лиц с целью определения вместимости и градуировки резервуара, составления и утверждения градуировочной таблицы, установления пригодности резервуара к применению.

Градуировочная таблица - зависимость вместимости от уровня наполнения резервуара при нормированном значении температуры, равной 20 °С. Таблицу прилагают к свидетельству о поверке резервуара и применяют для определения объема жидкости в нем.

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

3.4 **вместимость резервуара** : Внутренний объем резервуара, который может быть наполнен жидкостью до определенного уровня.

3.5 **номинальная вместимость резервуара** : Вместимость резервуара, соответствующая предельному уровню наполнения его, установленная нормативным документом для конкретного типа или установленная по приложению Е настоящей рекомендации.

3.6 **действительная (фактическая) полная вместимость резервуара** : Вместимость резервуара, соответствующая предельному уровню его наполнения, полученная по результатам измерений параметров резервуара при поверке.

3.7 **посантиметровая вместимость резервуара** : Объем жидкости в резервуаре, соответствующий уровню налитых в него доз жидкости, приходящихся на 1 см высоты наполнения.

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

3.9 **точка касания днища грузом рулетки** : Точка на днище резервуара или на опорной плите (при наличии), которой касается груз измерительной рулетки при измерениях базовой высоты резервуара и от которой проводят измерения уровня нефти и нефтепродуктов и воды при эксплуатации резервуара. Она является исходной точкой при составлении градуировочной таблицы резервуара.

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

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

3.12 **исходный уровень** : Уровень жидкости в резервуаре, отсчитываемый с уровня, соответствующего высоте «мертвой» полости.

3.13 **«мертвая» полость резервуара** : Нижняя часть резервуара, из которой нельзя выбрать жидкость, используя приемно - раздаточный патрубок.

3.14 **«мертвый» остаток**: Объем жидкости, находящейся в «мертвой» полости резервуара

3.15 **хлопун :** Приямок, образующийся на днище резервуара при внезапной потери устойчивости формы днища в следствии воздействия точечной нагрузки, например, от силы тяжести человека или гидростатического давления жидкости, и внезапно исчезающий при снятии нагрузок.

3.16 **«неучтенный» объем жидкости** : Объем жидкости в резервуаре, находящийся ниже точки касания днища резервуара грузом рулетки.

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

3.18 **степень наклона резервуара** : Величина η, выражаемая через тангенс угла наклона, рассчитываемая по формуле

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

где β= угол наклона резервуара в градусах.

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

3.20 **государственные учетные и торговые операции, взаимные расчетов между поставщиком и потребителем** : Операции, проводимые между поставщиком и потребителем, заключающиеся в определении объема или массы нефти и нефтепродуктов для последующих учетных операций, а также при арбитраже.

3.21 **учет нефти и нефтепродуктов при хранении** : Операция, проводимая на предприятии, во время технологического процесса, заключающаяся в определении объема и массы нефти и нефтепродуктов для последующих учетных операций.

4 Метод поверки

4.1 Поверку резервуара проводят геометрическим методом.

4.1.1 При поверке резервуара вместимость первого пояса определяют по результатам измерений внутреннего диаметра методом хорд и высоты первого пояса.

Метод хорд заключается в отложении хорды известной длины по внутренней длине окружности первого пояса.

4.1.2 Вместимость вышестоящих поясов определяют по результатам измерений вертикальных углов изнутри резервуара с помощью двух теодолитов, один из которых устанавливают в центре днища резервуара, а второй (под номером первый) - на расстоянии 1000-1500 мм от внутренней стенки первого пояса. При этом первый теодолит комплектуют лазерной установкой, служащей для получения яркой точки на поверхности резервуара.

4.2 Поверка резервуара может быть проведена объемным методом в соответствии с требованиями ГОСТ 8.570.

5 Технические требования

5.1 Требования к погрешности измерений параметров резервуара

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

Таблица 1

Наименование параметра	Пределы допускаемой погрешности измерений параметра резервуаров вместимостью, $м^3$	
	100-4000	5000-50000
Хорда (при укладке),мм	± 0,2	±0,4
Вертикальный угол, угл.сек	± 10	±10
Высота пояса, мм	± 5	±5
Толщина стенок, мм	±0,2	±0,2
Расстояние между отвесами теодолитов, %	±0,04	±0,03
Объем внутренних деталей, $м^3$	±(0,005 - 0,025)	

5.1.2 При соблюдении указанных в таблице 1 пределов допускаемой погрешности измерений погрешность определения вместимости резервуара будет находиться в пределах :

± 0,15 % -для резервуаров номинальной вместимостью от 100 до 3000 $м^3$;

±0,20 %- -"- 4000 $м^3$;

±0,25 %- -"- от 5000 - до 50000 $м^3$.

5.2 Средства поверки

5.2.1 При поверке резервуара применяют следующие основные и вспомогательные средства поверки:

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

5.2.1.2 Рулетку измерительную с грузом 2-го класса точности с верх-

ним пределом измерений 3 м.

5.2.1.3 Штангенциркули с диапазонами измерений 0-150; 500-1600; 800-2000 мм по ГОСТ 166.

5.2.1.4 Линейку измерительную металлическую с диапазоном измерений 0-1000 мм по ГОСТ 427.

5.2.1.5 Теодолит оптический с ценой деления микроскопа 2″ (угловые секунды) по ГОСТ 10529.

5.2.1.6 Лазер типа ЛГН-203.

5.2.1.7 Толщиномер ультразвуковой с диапазоном измерений 0,6-30 мм и пределами допускаемой погрешности ± 0,1 мм [1].

5.2.1.8 Нивелир с рейкой по ГОСТ 10528.

5.2.1.9 Термометр с ценой деления 1 °С и диапазоном измерений от 0 до +50°С по ГОСТ 28498.

5.2.1.10 Газоанализатор типа АНТ-2М по [2].

5.2.1.11 Динамометр с диапазоном измерений 0-100 Н по ГОСТ 13837.

5.2.2 Вспомогательные средства поверки: чертилка, мел, шпатель, щетки (металлические), графитовый стержень диаметром от 5 до 10 мм, микрокалькулятор.

5.2.3 Основные средства поверки резервуаров должны быть поверены в установленном порядке.

5.2.4 Допускается применение других, вновь разработанных или находящихся в эксплуатации, средств поверки, удовлетворяющих по точности и пределам измерений требованиям настоящей рекомендации.

6 Требования к организации проведения поверки

6.1 Резервуары подлежат поверке органами Государственной метрологической службы или аккредитованными на право поверки метрологическими службами юридических лиц.

6.2 Устанавливают следующие виды поверок резервуара :

- первичную, которую проводят после строительства резервуара перед его вводом в эксплуатацию и капитального ремонта;

- периодическую, которую проводят по истечении срока действия градуировочной таблицы и при внесении в резервуар конструктивных изменений, влияющих на его вместимость.

Первичную поверку резервуаров проводят после их гидравлических испытаний.

7 Требования к квалификации поверителей и требования безопасности

7.1 Поверку резервуара проводит физическое лицо, прошедшее курсы повышения квалификации и аттестованное в качестве поверителя в установленном порядке.

7.2 К поверке резервуара допускают лиц, изучивших настоящую рекомендацию, техническую документацию на резервуар и его конструкцию, средства поверки резервуара и прошедшие обучение по 7.1 и инструктаж по безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.004.

7.3 Лица, проводящие поверку резервуара, надевают спецодежду:

- женщины - в костюмы по ГОСТ 27574 и спецобувь по ГОСТ 12.4.137;

- мужчины - в костюмы по ГОСТ 27574 и спецобувь по ГОСТ 12.4.137.

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

7.5 Измерения параметров резервуара во время грозы **категорически запрещены.**

7.6 Для освещения в темное время суток или при необходимости в

дневное время суток при проведении измерений изнутри резервуара применяют светильники во взрывозащищенном исполнении.

7.7 Перед началом поверки резервуаров проверяют:

- исправность лестниц и перил резервуара;

- наличие заземления резервуара.

7.8 На резервуарах, не имеющих ограждений в виде перил по всей окружности крыши, работы проводят с предохранительным поясом, прикрепленным к надежно установленным элементам металлических конструкций крыши резервуара.

7.9 Базовую высоту резервуара измеряют через измерительный люк. Избыточное давление в газовом пространстве резервуара должно быть равно нулю.

После измерений крышку измерительного люка плотно закрывают.

7.10 В процессе измерений параметров резервуара обеспечивают двух - или трех кратный обмен воздуха внутри резервуара. При этом анализ воздуха на содержание вредных паров и газов проводят через каждый час.

7.11 Продолжительность работы внутри резервуара не более 4-х часов, после каждой четырехчасовой работы - перерыв на один час.

8 Условия поверки и подготовка к ней

8.1 При поверке соблюдают следующие условия:

8.1.1 Резервуар устанавливают на твердом фундаменте. При заглубленной установке и возможности попадания в приямок грунтовых вод сдвиг резервуара предотвращают дополнительными креплениями.

8.1.2 Для проведения измерений параметров резервуара его освобождают от остатков нефти и нефтепродуктов, зачищают, пропаривают (при необходимости), промывают и вентилируют.

8.1.3 Не допускают образование хлопунов днища резервуара.

8.1.4 Температура окружающего воздуха и воздуха внутри резервуара: (20 ± 15)°С.

8.1.5 Состояние погоды - без осадков.

8.2 При подготовке к поверке проводят следующие работы:

8.2.1 Изучают техническую документацию на резервуар и средства поверки

8.2.2 Подготавливают средства поверки к работе согласно технической документации на них, утвержденной в установленном порядке.

8.2.3 Измерения параметров при поверке резервуара проводят группой лиц, включающей не менее трех поверителей, прошедших курсы повышения квалификации в соответствии с 7.1.

9 Операции поверки

9.1 При проведении поверки резервуара должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование операции	Номер пункта рекомендации
Внешний осмотр	10.1
Измерения внутреннего диаметра первого пояса	10.2
Измерения высоты и толщины стенки первого пояса	10.3
Измерения внутренних радиусов и высот вышестоящих поясов	10.4
Определение степени и угла направления наклона резервуара	10.5
Измерения координаты точки отсчета значений уровня жидкости и базовой высоты резервуара	10.6
Определение вместимости «мертвой» полости	10.7
Определение объемов внутренних деталей	10.8
Измерения базовой высоты резервуара	10.9

10 Проведение поверки резервуара

10.1 Внешний осмотр

10.1.1 При внешнем осмотре резервуара проверяют:

- соответствие конструкции и внутренних деталей резервуара технической документации на него (паспорту , технологической карте на резервуар);

- наличие необходимой арматуры и оборудования;

- исправность лестниц и перил;

- состояние отмостки резервуара (отсутствие трещин и целостность);

- чистоту внутренней поверхности резервуара;

- отсутствие прогибов и хлопунов днища;

- отсутствие деформаций стенок поясов, препятствующих проведению измерений параметров резервуара.

10.1.2 По результатам внешнего осмотра устанавливают возможность применения геометрического метода поверки резервуара.

10.2 Измерения внутреннего диаметра первого пояса

10.2.1 Измерения внутреннего диаметра первого пояса проводят методом хорд на трех уровнях по высоте первого пояса: 500±50 мм; 1000±50 мм; 1500±50 мм.

10.2.2 Перед измерениями внутреннего диаметра на трех уровнях, указанных в 10.2.1, при помощи рулетки с грузом через каждые 1000 мм наносят горизонтальные отметки длиной 10÷20 мм по стенке первого пояса.

10.2.3 Отметки, нанесенные по стенке первого пояса на трех уровнях, соединяют между собой, применяя гибкую стальную ленту (рулетку).

При этом линии горизонтальных окружностей проводят толщиной не более 5 мм.

10.2.4 Вычисляют длину хорды S_1, мм, по формуле

$$S_1 = D_1 \cdot \sin\frac{\alpha_1}{2}, \quad (1)$$

где D_1 - диаметр резервуара, принимаемый по технической документации на резервуар, мм;

α_1 - центральный угол, соответствующий длине хорды S_1, вычисляемый по формуле

$$\alpha_1 = \frac{360}{m_1}, \quad (2)$$

где m_1 - число отложений хорды по линиям горизонтальных окружностей. Число m_1 в зависимости от номинальной вместимости резервуара принимают по таблице 3.

Таблица 3

Номинальная вместимость резервуара, м^3	Число разбивок m_1	Номинальная вместимость резервуара, м^3	Число разбивок m_1
100	24	3000(4000)	38
200	26	5000	40
300	28	10000	58
400	32	15000	66
700	34	20000	76
1000	34	30000	80
2000	36	50000	102

10.2.5 Хорду, длина которой вычислена по формуле (1), откладывают по линиям горизонтальных окружностей на трех уровнях при помощи штангенциркуля с диапазоном измерений от 500 до 1600 мм или от 800 до 2000 мм.

10.2.6 После отложений хорды по 10.2.5 измеряют остаточную хорду S_0 при помощи штангенциркуля с диапазоном измерений 0-150 мм с погрешностью не более 0,1 мм.

10.2.7 Значение длины хорды S_1, определенное по формуле (1), и

результаты измерений длин остаточных хорд на трех уровнях горизонтальных окружностей S_0 вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.3 Измерения высоты и толщины стенки первого пояса

10.3.1 Высоту h_1 измеряют изнутри резервуара при помощи измерительной рулетки с грузом. Высоту пояса измеряют не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений должно быть не более 5мм.

10.3.2 Толщину стенки пояса δ_1 измеряют с помощью ультразвукового толщиномера в трех точках, расположенных через 120° по периметру резервуара, с погрешностью не более 0,1 мм.

10.3.3 Результаты измерений высоты h_1 и толщины стенки δ_1 первого пояса вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.4 Измерения внутренних радиусов и высот вышестоящих поясов

10.4.1 Определяют центр резервуара в следующей последовательности:

- на уровне днища по линии пересечения днища с цилиндрической частью первого пояса откладывают хорду, длину которой S_2, мм , вычисляют по формуле

$$S_2 = D_1 \cdot \sin\frac{\alpha_2}{2}, \qquad (3)$$

где D_1 - диаметр резервуара, принимаемый по технической документации на резервуар, мм;

α_2 - центральный угол, соответствующий длине хорды S_2, вычисляемый по формуле

$$\alpha_2 = \frac{360}{m_2},$$

где m_2 - число отложений хорды, принимаемое равным 24;

- хорду откладывают рулеткой или другим инструментом (штангенциркулем, линейкой). Конец каждой отложенной хорды отмечают знаком

«+» и нумеруют их от 1 до 24;

- начало рулетки прикладывают к точке 1, а другой конец к противоположной точке 13 (рисунок Б.1). Определяют середину протянутой ленты рулетки и на этом месте на днище резервуара делают отметку. При неподвижном положении левого конца рулетки в точке 1 правый ее конец перемещают около точки 13 налево и право на расстоянии 400-500 мм и прочерчивают на днище резервуара дугу с отметки, соответствующей середине длины рулетки ;

- неподвижный конец рулетки переставляют к точке 2, а другой конец (правый) к точке 14 и , перемещая правый конец рулетки, прочерчивают вторую дугу на днище резервуара. Таким образом прочерчивают 12 дуг. Точку пересечения большинства дуг принимают за центр резервуара.

10.4.2 Значения внутренних радиусов и высот вышестоящих поясов определяют по результатам измерений вертикальных углов с помощью двух теодолитов, устанавливаемых в соответствии с 4.1.2 в центре днища резервуара, определенном в соответствии с 10.4.1, и на расстоянии 1000 - 1500 мм от внутренней стенки первого пояса, и расстояния между теодолитами.

10.4.3 Стирают отметки, нанесенные на уровне днища по линии пересечения днища с цилиндрической частью первого пояса при определении центра резервуара в соответствии с 10.4.1.

10. 4.4 Вычисляют длину хорды S_3, мм, по формуле

$$S_3 = D_1 \cdot \sin\frac{\alpha_3}{2}, \qquad (4)$$

где D_1 - диаметр резервуара, принимаемый по технической документации на резервуар, мм;

α_3- центральный угол, соответствующий длине хорды S_3, вычисляемый по формуле

$$\alpha_3 = \frac{360}{m_3},$$

где m_3 - число отложений хорды S_3,принимаемое в зависимости от номина-

льной вместимости резервуара по таблице 4.

Таблица 4

Номинальная вместимость резервуара, м³	Число разбивок m_3	Номинальная вместимость резервуара, м³	Число разбивок m_3
100	24	3000(4000)	38
200	26	5000	40
300	28	10000	42
400	30	15000	44
700	32	20000	46
1000	34	30000	46
2000	36	50000	48

10.4.5 Откладывают хорду S_3, начиная от плоскости, проходящей через центры измерительного люка и резервуара.

10.4.6 Точки отложений хорды нумеруют от 1 до m_3 и соединяют их с центром резервуара по натянутой рулетке с помощью мела или графитового стержня. При этом первую линию проводят через точку касания днища грузом рулетки.

10.4.7 Первый теодолит устанавливают по линии, проведенной через центр резервуара и $\left(\frac{m_3}{2}+1\right)$-ю точку отложений хорды S_3, находящуюся диаметрально противоположно точке отложений хорды номер один, т.е k=1 (где k - номер отложений хорды) на расстоянии 1000 - 1500 мм от стенки первого пояса. Луч лазера направляют в диаметрально противоположную точку, находящуюся на стенке первого пояса выше первой точки отметки на 1500 мм. Окуляр теодолита направляют в центр светового пятна. При этом вертикальный угол на теодолите устанавливают равным нулю.

В дальнейшем луч лазера перемещают только строго по вертикали от

этой точки. Угловое перемещение луча по вертикали отсчитывают по вертикальной шкале первого теодолита, окуляр которого совмещают с центром светового пятна.

10.4.8 Второй теодолит устанавливают в центр резервуара и совмещают центр окуляра этого теодолита с центром светового пятна , находящимся на стенке первого пояса в соответствии с 10.4.7. При этом вертикальный угол теодолита устанавливают равным нулю. Таким образом совмещают горизонты первого и второго теодолитов.

10.4.9 Перед непосредственными измерениями углов проводят точное центрирование теодолитов над точками и приводят вертикальные их оси в отвесное положение в соответствии с технической документацией на них.

10.4.10 Расстояние между нитями отвесов теодолитов C_1 (рисунок Б.2) измеряют при помощи измерительной рулетки с динамометром не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений должно быть не более 2мм.

10.4.11 Расстояние $(AB)_1$ (рисунок Б.2) измеряют рулеткой не менее двух раз. Расхождение между результатами измерений должно быть не более 2мм.

10.4.12 При определении суммарных высот и радиусов вышестоящих поясов, последовательно устанавливая первый теодолит на линиях, проведенных через центр резервуара и $\left(\frac{m_3}{2}+2\right)$, $\left(\frac{m_3}{2}+3\right)$, $\left(\frac{m_3}{2}+4\right)$,..., $\left(\frac{m_3}{2}+\lambda\right)$,..., m_3 точек отложений хорды, измеряют расстояние между нитями отвесов теодолитов C_k и расстояний $(AB)_k$.

10.4.13 Результаты измерений параметров С и АВ по 10.4.10, 10.4.11, 10.4.12 вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.4.14 Высоту вышестоящих поясов определяют по результатам изме-

рений суммарной высоты $(H_{max})_1$ вышестоящих поясов, проводимых в следующей последовательности:

а) направляют луч лазера по вертикали, соответствующей первой точке отложений хорды, на стык цилиндрической части и кровли резервуара и совмещают окуляр теодолита с центром светового пятна;

б) отсчитывают показание вертикальной шкалы первого теодолита $(\beta_{1max})_1$ с погрешностью не более 2″;

в) перемещая зрительную трубу второго теодолита по вертикали, совмещают центр окуляра со световым пятном лазера;

г) отсчитывают показание вертикальной шкалы второго теодолита $(\beta_{2max})_2$ с погрешностью не более 2″.

10.4.15 Если линии раздела вышестоящих поясов достаточно заметны для направления луча лазера, то высоты поясов определяют по результатам измерений вертикальных углов β_{1i}, β_{2i} до этих линий раздела (i-номер пояса).

10.4.16 Результаты измерений углов β_{1i}, β_{2i} вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.4.17 Внутренний радиус вышестоящего i-го пояса при установке первого теодолита на линию, проходящую через центр резервуара и $\left(\frac{m_3}{2}+\lambda\right)$-ю точку отложений хорды S_3, находящуюся диаметрально противоположной точке отложений хорды k, определяют в следующей последовательности:

а) вычисляют вертикальный угол для направления светового пятна лазера в середину i-го вышестоящего пояса по формуле

$$(\theta_1)_{ik} = \text{arctg}\frac{\frac{h_{ik}}{2} + \sum_{j=2}^{i-2} h_{kj}}{(AB)_k}, \qquad (5)$$

где i - номер вышестоящего пояса, выбираемый из ряда: 2; 3; 4;...*n* (*n* - число поясов резервуара);

λ -число, выбираемое последовательно из ряда : 1;2;3;4,..., $0{,}5m_3$, $-(0{,}5 \cdot m_3 - 1)$, $-(0{,}5 \cdot m_3 - 2)$, $-(0{,}5 \cdot m_3 - 2)$, $-(0{,}5 \cdot m_3 - 3)$,..., (-3),(-2), (-1),0;

k- номер отложений хорды, выбираемый последовательно из ряда: 1;2;3;4,..., m_3;

h_{ik}, h_{kj} - высоты i -го и j -го поясов при номере отложений хорды k ;

$(AB)_k$ - расстояние, измеренное в соответствии с 10.4.12 при номере отложений хорды k;

б) перемещая зрительную трубу первого теодолита по вертикали, устанавливают вертикальный угол, вычисленный по формуле (5), по шкале первого теодолита и совмещают окуляр первого теодолита с центром светового пятна лазера;

в) перемещая зрительную трубу второго теодолита по вертикали, совмещают центр окуляра со световым пятном лазера;

г) отсчитывают показание вертикальной шкалы второго теодолита $(\theta_2)_{ik}$ с погрешностью не более 2″.

10.4.18 Результаты измерений $(\theta_2)_{ik}$ и вычислений $(\theta_1)_{ik}$ по формуле (5) вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.5 Определение степени и угла направления наклона резервуара

10.5.1 Степень и угол направления наклона резервуара определяют по результатам измерений максимальных вертикальных углов, соответствующих суммарной высоте вышестоящих поясов.

10.5.2 Максимальные вертикальные углы измеряют одновременно при измерениях вертикальных углов, по результатам которых определяют радиусы вышестоящих поясов.

10.5.3 Направление наклона резервуара φ (рисунок Б.3) определяют по результатам дополнительных измерений максимальных вертикальных углов в пределах (N_1+1)-й основной хорды, содержащей направление наклона резервуара, в следующей последовательности:

а) вычисляют длину дополнительной хорды $S_д$ по формуле

$$S_д = 0{,}008726 \cdot \frac{L_ц}{\pi}, \qquad (6)$$

где $L_ц$ - внутренняя длина первого пояса;

б) устанавливают число отложений дополнительной хорды от точки отложений N_1-й хорды до направления наклона резервуара n_1.

10.5.4 Результаты измерений β_{1max}, β_{2max}, n_1 вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.6 Измерения координаты точки отсчета значений уровня жидкости и базовой высоты резервуара

10.6.1 Координата точки отсчета значений уровня жидкости и базовой высоты резервуара $l_л$ равна расстоянию между точкой касания днища грузом рулетки и стенкой резервуара (рисунок Б.4).

10.6.2 Величину $l_л$ измеряют по линии, проведенной через первую точку отложений хорды и центр резервуара. Измерения проводят рулеткой с динамометром не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений должно быть не более 2 мм.

10.6.3 Результаты измерений $l_л$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.7 Определение вместимости «мертвой» полости

10.7.1 Высоту «мертвой» полости $h_{мп}$ измеряют рулеткой по стенке резервуара от днища резервуара до нижней точки приемно-раздаточного патрубка.

10.7.2 Угол между плоскостью, проходящую через продольную ось приемно-раздаточного патрубка и центром резервуара, и плоскостью, проходящую через центры резервуара и измерительного люка φ_1 (рисунок Б.4), определяют, используя точки отложений хорды по 10.4.4, в следующей последовательности:

а) проводят на днище резервуара линию от центра резервуара через точку касания днища грузом рулетки до стенки резервуара;

б) опускают перпендикуляр по стенке первого пояса от нижней образующей приемно-раздаточного патрубка до днища резервуара и фиксируют номер основной хорды (N_2+1), в пределах которой находится точка пересечения вертикали с днищем резервуара;

в) откладывают дополнительную хорду длиной, вычисленной по формуле (6), и устанавливают число отложений дополнительной хорды от точки отложений N_2- й хорды до линии, проведенной по перечислению а, n_2.

10.7.3 Для определения объема неровностей днища $(\Delta V_{дн})_o$ проводят нивелировку днища резервуара в соответствии с 9.1.8.2 ГОСТ 8.570.

10.7.4 Результаты измерений $h_{мп}$, b_{ji},$b_д$, N_2, n_2 вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.8 Определение объемов внутренних деталей

10.8.1 Объемы внутренних деталей определяют по данным технической документации или по данным измерений геометрических параметров внутренних деталей с указанием их расположения по высоте от днища, от стенки резервуара ($h_д^н$,$h_д^в$,$l_д$) и угла между плоскостью, проходящую через

продольную ось резервуара и центр измерительного люка, и плоскостью , проходящую через осей внутренней детали и резервуара φ_2 (рисунок Б.4).

10.8.2 Измерения угла φ_2 проводят в следующей последовательности:

а) проводят линии на днище резервуара в соответствии с 10.8.1 настоящей рекомендации;

б) определяют числа основной N_3 и дополнительной n_3 хорд по методике, изложенной в 10.7.2 настоящей рекомендации.

10.8.3 Результаты измерений $h_д^н$,$h_д^в$, N_3, n_3 вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.8.4 Внутренние детали сложной геометрической формы могут быть заменены эквивалентными по объему и расположению или расчленены на более простые. Об этом делают запись в протоколе, форма которого приведена в приложении А.

10.9 Измерения базовой высоты резервуара

10.9.1 Базовую высоту резервуара $H_Б$ измеряют рулеткой с грузом не менее двух раз. Расхождение между результатами двух измерений не должно быть более 2 мм.

Значение базовой высоты наносят на табличке, прикрепленной к измерительному люку.

10.9.2 Результаты измерений базовой высоты $H_Б$ вносят в протокол, форма которого приведена в приложении А.

10.9.3 Базовую высоту измеряют ежегодно. При изменении базовой высоты по сравнению с её значением, установленном при поверке резервуара, более чем на 0,1 % проводят измерения вместимости «мертвой» полости и степени наклона резервуара и корректировку градуировочной таблицы за счет изменения вместимости «мертвой» полости и степени наклона резервуара в соответствии с ГОСТ 8.570.

Уровни наполнения резервуара при измерениях базовой высоты не должны отличаться друг от друга более, чем на 500 мм.

10.9.4 Результаты измерений базовой высоты, вместимости «мертвой» полости и степени наклона резервуара оформляют актами, формы которых приведены в приложении Л ГОСТ 8.570.

11 Обработка результатов измерений

11.1 Обработку результатов измерений при поверке проводят в соответствии с приложением В

11.2 Результаты вычислений вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

12 Составление градуировочной таблицы

12.1 Градуировочную таблицу составляют, начиная от уровня $H_{м.п}$, соответствующего высоте «мертвой» полости $h_{мп}$, до предельного уровня $H_{пр}$, вычисляя посантиметровую вместимость резервуара $V(H)_i$, м^3, по формуле

$$V(H)_i = V(H)_{i-1} + V(H)_{zi} + \frac{L_{ui}^2 \cdot \sqrt{1+\eta^2}}{4 \cdot \pi \cdot 10^8}(H - H_{i-1} - z_i) + \Delta V_{ri} \cdot (H - H_{i-1}) \pm V_{в.д} , \qquad (7)$$

где $V(H)_{i-1}$ - посантиметровая вместимость резервуара, соответствующая уровню H_{i-1} , м^3;

$V(H)_{zi}$ - посантиметровая вместимость резервуара (рисунок Б.5) в пределах уровня от H_{i-1} до $(H_{i-1}+z_i)$, вычисляемая в соответствии В.12.3 , м^3;

L_{ui} - внутренняя длина окружности i-го пояса, вычисляемая по формуле (В.7), мм ;

Н - уровень жидкости в резервуаре, отсчитываемый от точки касания днища грузом рулетки, см;

z_i - участок стыка (i-1)-го и i-го поясов, длину которого вычисляют по

формуле (В.37),см;

H_{i-1} - уровень жидкости в резервуаре, соответствующий суммарной высоте поясов, вычисляемый по формуле (В.38), см ;

ΔV_{ri} - поправка к посантиметровой вместимости резервуара, приходящаяся на 1 см наполнения резервуара, за счет гидростатического давления жидкости при наполнении i-го пояса, вычисляемая в соответствии с В.13, $м^3/см$;

$V_{в.д}$ - объем внутренних деталей ,вычисляемый в соответствии с В.14 ,$м^3$.

Объем внутренних деталей при составлении градуировочной таблицы учитывают от уровня $H_д^н$, соответствующего нижней границы внутренней детали $h_д^н$, до уровня $H_д^к$, соответствующего верхней границы внутренней детали $h_д^к$ (рисунок Б.4).

Величины $H_д^н$, $H_д^к$ вычисляют по формулам (В.41), (В.42).

12.2 Предельный уровень $H_{пр}$,см, до которого составляют градуировочную таблицу, вычисляют по формуле

$$H_{пр} = \frac{\eta \cdot 10^{-1}}{\sqrt{1+\eta^2}} \left[H_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} + \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{i=1}^{n} h_i - \frac{f_л}{\eta \cdot \sqrt{1+\eta^2}} - \frac{L_ц}{2\pi} + \left(\frac{L_ц}{2\pi} - l_0 \right) \cdot \cos\varphi \right], \qquad (8)$$

где η - степень наклона резервуара, вычисляемая по формуле (В.9);

$H_Б$ - базовая высота резервуара (рисунок Б.5), вычисляемая по формуле (В.32) , мм;

$f_л$ - высота превышения точки касания днища грузом рулетки, вычисляемая по формуле (В.16) , мм;

h_i - высота i -го пояса, мм;

n - число поясов резервуара;

$L_ц$ - внутренняя длина окружности 1-го пояса, вычисляемая по формуле

(В.2) , мм;

l_0 -величина, вычисляемая по формуле (В.17) ,мм;

φ - угол направления наклона резервуара , вычисляемый по формуле (В.10).

12.3 Посантиметровую вместимость первого пояса $V(H)_1$,$м^3$, вычисляют по формуле (В.34) .

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

12.5 При необходимости составляют градуировочную таблицу в пределах уровня $H_{м.п}$, соответствующего высоте «мертвой» полости $h_{мп}$, используя формулы (В.29), (В.30). При этом коэффициент вместимости вычисляют в пределах каждого изменения уровня жидкости в резервуаре на 1 см.

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

12.7 Значения посантиметровой вместимости резервуара, указанные в градуировочных таблицах, соответствуют температуре 20 ^{0}С.

12.8 Результаты расчетов при составлении градуировочной таблицы вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г (таблица Г.4).

12.9 Обработка результатов измерений может быть проведена ручным способом или с использованием компьютера.

12.10 Результаты измерений должны быть оформлены протоколом поверки резервуара, форма которого приведена в приложении А .

12.10.1 Таблицы А.11 и А.12 заполняют при наличии неровностей днища.

12.10.2 Таблицы А.13 и А.14 заполняют при наличии внутренних деталей.

12.10.3 Остальные таблицы приложения А подлежат обязательному заполнению.

12.10.4 Протокол поверки является входным документом при расчете градуировочной таблицы на компьютере.

12.11 Основные технические требования к стальным вертикальным цилиндрическим теплоизолированным резервуарам, влияющие на их вместимость, приведены в приложении Д.

13 Оформление результатов поверки

13.1 Результаты поверки резервуара оформляют свидетельством о поверке в соответствии с [3].

На табличку, прикрепленную к измерительному люку или перилам резервуара, наносят данные в соответствии с Д.15 приложения Д.

13.2 К свидетельству о поверке прилагают:

а) градуировочную таблицу;

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

в) эскиз резервуара;

д) журнал обработки результатов измерений при поверке.

13.3 Форма титульного листа градуировочной таблицы и форма градуировочной таблицы приведены в приложении Е. Формы актов измерений базовой высоты резервуара, определения вместимости «мертвой» полости резервуара и измерений степени наклона резервуара, составляемые при ежегодных измерениях базовой высоты резервуара, приведены в приложении Л ГОСТ 8.570.

Протокол поверки, титульный лист и последнюю страницу градуировочной таблицы подписывают поверители. Подписи поверителей заверяют оттисками поверительного клейма, печати (штампа).

13.4 Градуировочные таблицы на резервуары утверждает руководитель органа Государственной метрологической службы или руководитель аккредитованной на право поверки метрологической службы юридического лица.

13.5 Типовая программа расчета градуировочных таблиц на компьютере по настоящей рекомендации разработана в ФГУП ВНИИР - ГНМЦ. Программы, разработанные другими организациями, подлежат экспертизе, аттестации и утверждению в ФГУП ВНИИР - ГНМЦ или другом ГНМЦ Госстандарта России, специализированном в данной области измерений.

Приложение А

Форма протокола поверки резервуара

ПРОТОКОЛ
поверки резервуара

Таблица А.1- Общие данные

Код документа	Регистрационный номер	Дата			Основание для проведения поверки
		число	месяц	год	

Продолжение таблицы А.1

Место проведения работы	Средства поверки	Плотность хранимой жидкости $\rho_{ж.х}$, кг/м^3
1	2	3
Примечание - За значение плотности $\rho_{ж.х}$ (графа 3) принимают значение плотности жидкости при хранении		

Окончание таблицы А.1

Тип резервуара	Номер резервуара	Принадлежность резервуара	Погрешность определения вместимости резервуара, %

Таблица А.2- Условия проведения измерений

Температура воздуха , °С	Скорость ветра, м/с	Загазованность, мг/м^3

Таблица А.3 - Длина хорд В миллиметрах

Уровень отложений хорды	Хорда		
	Основная s_1	Остаточная s_0	
		1-е измерение	2-е измерение
1500			
1000			
500			

Таблица А.4 - Высота и толщина стенок первого пояса В миллиметрах

Высота первого пояса h_1		Толщина стенки первого пояса δ_1		
1-е измерение	2- измерение			

Таблица А.5 - Расстояния между теодолитами и первым теодолитом до стенки резервуара В миллиметрах

Наименование измеряемого параметра	Номер измерения	Точка отложений хорды								
		1	2	3	4	5	...	...	...	m_4
Расстояние между нитями отвесов теодолитов С	1-е измерение									
	2-е измерение									
Расстояние между первым теодолитом и стенкой резервуара АВ	1-е измерение									
	2-е измерение									

Таблица А.6 - Вертикальные углы при определении высот вышестоящих поясов В угловых градусах

Вертикальный угол	Номер пояса										
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
β_1											
β_2											
Примечание - В графе 12 углы соответствуют $(\beta_1 \max)_1$ и $(\beta_2 \max)_1$.											

Таблица А.7 - Вертикальные углы при определении внутренних радиусов вышестоящих поясов

В угловых градусах

Номер	Точка отложений хорды															
пояса	1		2		3		4		...		...		...		m_3	
I	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
II																
III																
IV																
V																
VI																
VII																
VIII																
IX																
X																
XI																
XII																

Таблица А.8 - Степень и направление наклона резервуара

В угловых градусах

Максимальный вертикальный угол	Точка основных отложений хорды								Точка дополнительных отложений хорды				
	1	2	3	4	5	...	...	m_3	1	2	...	...	n_1
$(\beta_1 \max)_k$													
$(\beta_2 \max)_k$													

Таблица А.9 - Координата точки измерений уровня жидкости или базовой высоты резервуара $l_л$

В миллиметрах

1 - е измерение	2 - е измерение

Таблица А.10 Параметры «мертвой» полости

Высота $h_{м.п}$, мм	Число отложения хорды		Вместимость $V_{м.п}$, $м^3$
	N_2	n_2	
1	2	3	4
Примечание - Графу 4 заполняют только при определении вместимости «мертвой» полости объемным методом.			

Таблица А.11 - Неровности днища В миллиметрах

Номер радиуса	Номер измерения	Отсчет по рейке при установлении её в точках концентрической окружности b_{ji}								
		0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1									
	2									
2	1									
	2									
3	1									
	2									
4	1									
	2									
5	1									
	2									
6	1									
	2									
7	1									
	2									
8	1									
	2									

Примечания

1 Четные номера строк (графа 2) заполняют только при наличии центральной трубы в соответствии с рисунком А.14 ГОСТ 8.570.

2 При наличии центральной трубы вносят (графа 3) показания рейки, устанавливаемой в точках пересечения радиусов и образующих центральной трубы в соответствии с рисунком А.15 ГОСТ 8.570.

Таблица А.12 - Высота превышения точки касания днища грузом рулетки и диаметр центральной трубы В миллиметрах

Отсчет по рейке в точке касания днища грузом рулетки $b_л$		Диаметр центральной трубы d_o
1-ое измерение	2-ое измерение	

Таблица А.13 - Внутренние детали цилиндрической формы

Диаметр, мм	Высота от днища, мм		Расстояние от стенки $l_д$, мм	Число отложений хорды	
	нижняя граница $h_д^н$	верхняя граница $h_д^в$		N_3	n_3

Таблица А.14 - Внутренние детали прочей формы

Объем, мм	Высота от днища, мм		Расстояние от стенки $l_д$, мм	Число отложений хорды	
	нижняя граница	верхняя граница		N_3	n_3

Таблица А.15 - Базовая высота резервуара В миллиметрах

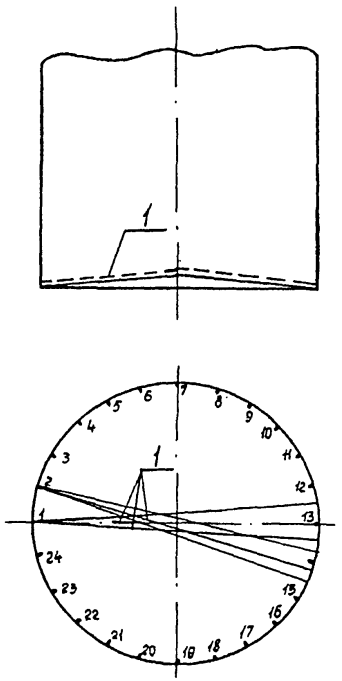
1-е измерение	2-е измерение

Должности	Подписи и оттиски поверительных клейм, печатей (штампов)	Инициалы, фамилии

«____»_____ 200__ г.

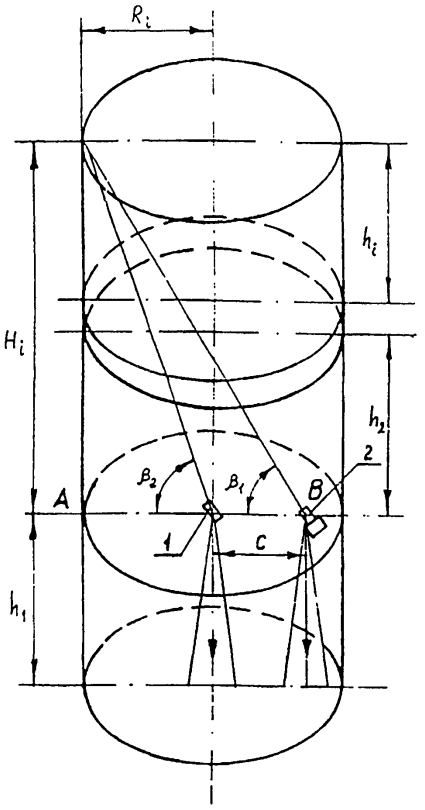
Приложение Б

Схемы измерений параметров резервуара при поверке



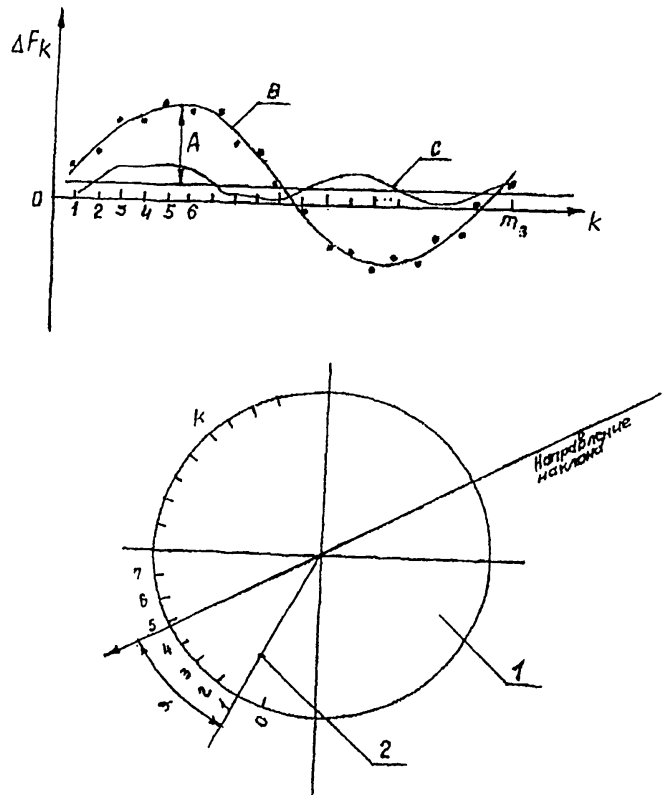
1 - рулетка

Рисунок Б.1 - Схема определения центра резервуара



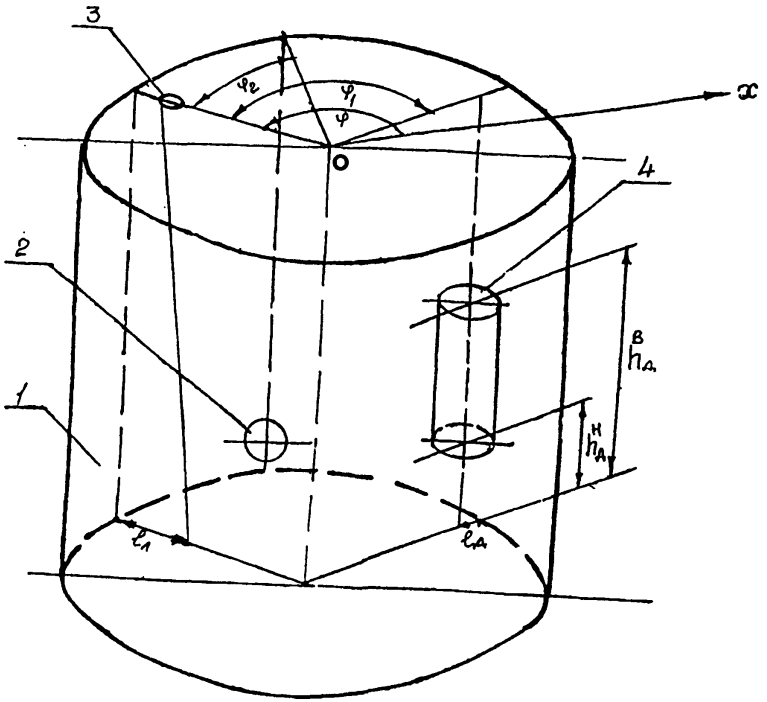
1- второй теодолит; 2- первый теодолит; h_1, h_2,..., h_i - высоты первого, второго и i-го поясов; H_i- суммарная высота поясов (со второго по i-му поясу); R_i- радиус i-го пояса; β_1, β_2 - вертикальные углы; С- расстояние между нитями отвесов теодолитов; АВ -расстояние по горизонтали от нити отвеса 1-го теодолита до диаметрально противоположной точки на стенке резервуара на высоте 1500 мм

Рисунок Б.2 - Схема размещения теодолитов



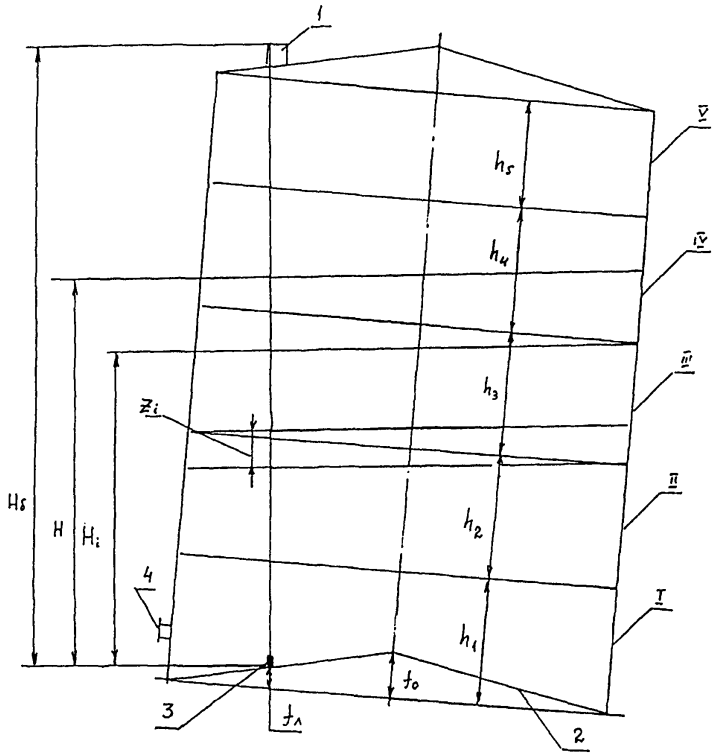
1- контур резервуара; 2- точка касания днища грузом рулетки; ΔF_k -функция , вычисляемая по формуле (В.8); В,С - графики фунуции ΔF_k при наличии и отсутствии наклона резервуара соответственно; А - максимум функции ΔF_k; m_3 -число отложений хорды; k- номер отложений хорды; φ - направление наклона резервуара, вычисляемое по формуле (В.10)

Рисунок Б.3 - График функции ΔF_k и схема направления наклона резервуара



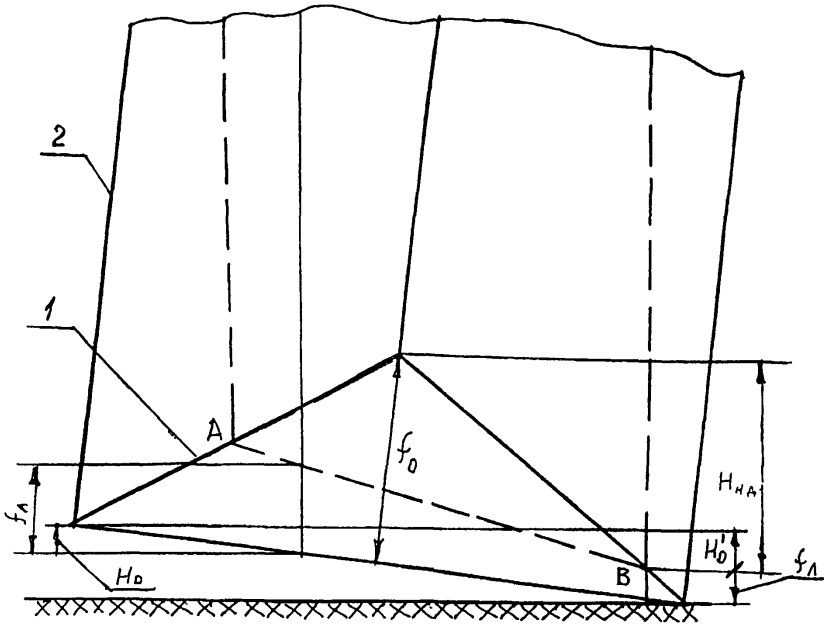
1- резервуар; 2- приемно-раздаточный патрубок; 3- измерительный люк; 4- внутренняя деталь; ох - направление наклона резервуара; φ - угол между направлением наклона резервуара и плоскостью, проходящую через центры резервуара и измерительного люка; φ_1 - угол между плоскостью, проходящую через центры резервуара и измерительного люка, и плоскостью, проходящую через центры резервуара и внутренней детали; φ_2- угол между плоскостью, проходящей через центры резервуара и измерительного люка, и плоскостью, проходящей через центры резервуара и приемно-раздаточного патрубка; lл - расстояние между точкой касания днища грузом рулетки и стенкой резервуара; $h_д^н$, $h_д^в$ - нижняя и верхняя границы внутренней детали; $l_д$ - расстояние между продольной осью внутренней детали и стенкой резервуара.

Рисунок Б.4 - Схема размещения внутренней детали



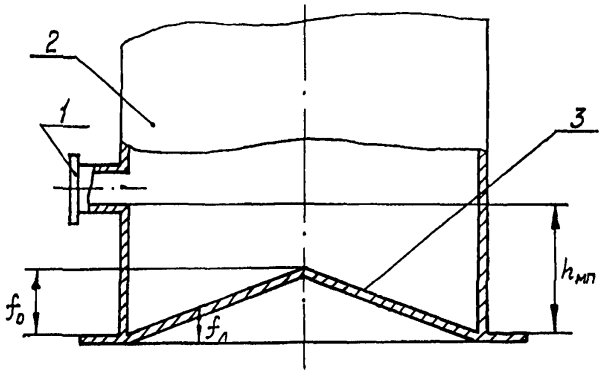
1- измерительной люк; 2- неровности днища; 3-груз измерительной рулетки; 4 - приемно-раздаточный патрубок; z_i- участок перехода от (i-1)-го пояса к i-му поясу; H_i - уровень жидкости в резервуаре, соответствующий сумме: $h_1,h_2,h_3,...,h_i$ высот поясов; $H_б$ - базовая высота резервуара

Рисунок Б.5 - Схема наклоненного резервуара



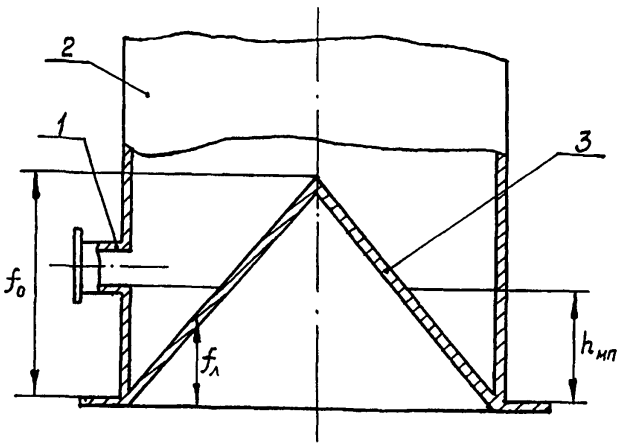
1-неровности днища; 2- резервуар; АВ - линия точек касания днища грузом рулетки; $f_л$ - высота превышения точки касания днища грузом рулетки; H_0 - уровень жидкости в резервуаре, соответствующий вместимости днища; f_0 - высота неровностей днища; H_0' - уровень жидкости в резервуаре от точки касания днища грузом рулетки до уровня H_0; $H_{н.д}$ - уровень, соответствующий высоте неровностей днища

Рисунок Б.6 - Схема определения объема неровностей днища



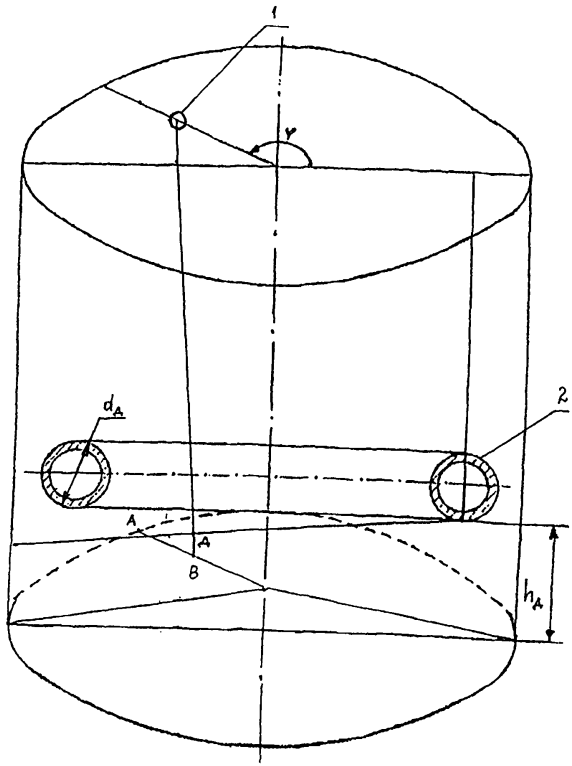
1 - приёмно -раздаточный патрубок; 2 - стенка резервуара;
3 - неровности днища; f_0 -высота неровностей днища; f л – высота точки касания днища грузом рулетки; $h_{мп}$ - высота «мертвой» полости

Рисунок Б.7- Схема размещения неровностей днища в пределах «мертвой» полости



1 - приёмно - раздаточный патрубок; 2 - стенка резервуара; 3 - неровности днища; f_0 -высота неровностей днища; f л – высота точки касания днища грузом рулетки; $h_{мп}$ - высота «мертвой» полости

Рисунок Б.8 - Схема размещения неровностей днища за пределами «мертвой» полости



1 - измерительный люк; 2 - змеевик теплообменника;AB=l_0 - координата точки отсчета значений уровня жидкости и базовой высоты резервуара; BD = $H_д^н$ - уровень , соответствующий нижней границе внутренней детали; $d_д$ - наружный диаметр трубы змеевика; $h_д$ - нижняя граница внутренней детали

Рисунок Б.9 - Схема размещения змеевика теплообменника

Приложение В

Обработка результатов измерений

В. 1 Вычисление внутреннего диаметра первого пояса

В.1.1 Внутренний диаметр первого пояса вычисляют методом последовательных приближений, используя результаты измерений хорд (основной и остаточной) горизонтальных окружностей, проведенных на трех уровнях: 1500; 1000; 500 мм.

В.1.2 В качестве первого приближения внутреннего диаметра первого пояса на j- м уровне D_1 принимают значение, указанное в технической документации на резервуар в соответствии с 10.2.4.

В.1.3 Вычисляют[1)] центральный угол, соответствующий остаточной хорде, α_{x1} по формуле

$$\alpha_{x1} = 2 \cdot \arcsin \frac{S_0}{D_1},$$

где S_0 - остаточная хорда, измеренная по 10.2.6;

D_1 - внутренний диаметр первого пояса первого приближения, принятый в соответствии с В.1.2.

[1)] Все расчеты проводят до 8-й значащей цифры, затем округляют для длин до целого числа миллиметров, для объемов - до целого числа тысячных долей метра кубического. Во всех формулах значения линейных размеров указывают в миллиметрах, объемы - в метрах кубических, массу - в килограммах, температуру - в градусах Цельсия, плотность - в килограммах на метр кубический.

В.1.4 Вычисляют разность углов β_{x1} по формуле

$$\beta_{x1} = \alpha_{21} \cdot m_1 + \alpha_{x1} - 360^\circ,$$

где α_{21} - центральный угол, вычисленный по формуле (2) при числе отложений хорды m_1 и принимаемый за первое приближение центрального угла α_{21}.

В.1.5 Вычисляют второе приближение центрального угла α_{22} по формуле

$$\alpha_{22} = \alpha_{21} \pm \frac{\beta_{x1}}{m_1},$$

принимают знак «+», если $\beta_{x1} < 0$; знак «-» , если $\beta_{x1} > 0$.

В.1.6 Вычисляют 2-е приближение внутреннего диаметра первого пояса D_2 по формуле

$$D_2 = \frac{S_1}{\sin\frac{\alpha_{22}}{2}},$$

где S_1 - хорда, длину которой вычисляют по формуле (1).

В.1.7 Проверяют выполнение условия

$$|D_2 - D_1| \le 1\text{мм}.$$

В.1.8 Если условие В.1.7 не выполняется, то делают следующее приближение в последовательности

В.1.8.1 Вычисляют параметры по формулам:

$$\alpha_{x2} = 2 \cdot \arcsin\frac{S_0}{D_2};$$

$$\beta_{x2} = \alpha_{22} \cdot m_3 + \alpha_{x2} - 360^\circ;$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{22} \pm \frac{\beta_{x2}}{m_3};$$

$$D_3 = \frac{S_2}{\sin\frac{\alpha_{23}}{2}}.$$

В.1.8.2 Проверяют выполнение условия

$$|D_3 - D_2| \le 1\text{мм}.$$

В.1.9 Если условие В.1.8.2 не выполняется, то делают следующие приближения до выполнения условия

$$|D_l - D_{l-1}| \le 1 \text{ мм}.$$

В.1.10 Внутренний диаметр первого пояса D вычисляют по формуле

$$D = \frac{D_{1,5} + D_{1,0} + D_{0,5}}{3}, \qquad (В.1)$$

где $D_{1,5}$; $D_{1,0}$; $D_{0,5}$ - диаметры первого пояса, определенные в соответствии с В.1.2 - В.1.9 по результатам измерений хорд на трех уровнях: 1500; 1000;500 мм.

В.2 Вычисление внутренней длины окружности первого пояса

В.2.1 Внутреннюю длину окружности первого пояса $L_ц$ вычисляют по формуле

$$L_ц = \pi \cdot D, \qquad (В.2)$$

где π=3,1415927 (здесь и далее везде).

В.2.2.Результат вычисления величины $L_ц$ по формуле (В.2) вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

В.3 Вычисление высоты вышестоящих поясов

В.3.1 Суммарную высоту вышестоящих поясов $(H_{max})_1$ вычисляют по формуле

$$(H_{max})_1 = C_1 \cdot \frac{tg(\beta_{1\,max})_1 \cdot tg(\beta_{2\,max})_1}{tg(\beta_{2\,max})_1 - tg(\beta_{1\,max})_1}, \qquad (В.3)$$

где C_1 - расстояние между нитями отвесов теодолитов, измеренное в соответствии с 10.4.7;

$(\beta_{1\,max})_1$, $(\beta_{2\,max})_1$ - максимальные вертикальные углы, измеренные в соответствии с 10.4.14.

В.3.2 Высоту i - го вышестоящего пояса h_i вычисляют по формуле

$$h_i = \frac{(H_{max})_1}{n-1}, \qquad (В.4)$$

где i - номер пояса, значение его принимают из ряда: 2,3,...n ;

n - число поясов резервуара.

В.3.3 При выполнении условия, изложенного в 10.4.12, высоту i - го вышестоящего пояса h_i вычисляют по формуле

$$h_i = C_1 \cdot \frac{tg\beta_{1\,i} \cdot tg\beta_{2i}}{tg\beta_{2i} - tg\beta_{1\,i}} - \sum_{l=2}^{i-2} h_l . \qquad (В.5)$$

В.3.4 Результаты вычислений величины h_i вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

В.4 Вычисление внутренних диаметров вышестоящих поясов

В.4.1 Внутренний диаметр i - го вышестоящего пояса при установке первого теодолита на точку $(\frac{m_3}{2} + \lambda)$ - й линии, соответствующей k- й точке отложений хорды s_3 вычисляют по формуле

$$D_{ik} = 2 \cdot C_k \cdot \frac{tg(\theta_1)_{ik}}{tg(\theta_2)_{ik} - tg(\theta_1)_{ik}}, \qquad (В.6)$$

где C_k - расстояние между теодолитами, мм. Значения величины C_k принимают по таблице А.5;

$(\theta_1)_{ik}, (\theta_2)_{ik}$ - вертикальные углы, град. Значения углов $(\theta_1)_{ik}, (\theta_2)_{ik}$ принимают по таблице А.7.

В.4.2 Внутренняя длина окружности i - го вышестоящего пояса L_{ui} вычисляют по формуле

$$L_{ui} = \frac{\pi}{m_3} \cdot \sum_{k=1}^{m_3} D_{ik}, \qquad (В.7)$$

где m_3 - число отложений хорды S_3 .

В.4.3 Результаты вычислений L_{ui} вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

В.5 Вычисление степени наклона резервуара

В.5.1 Вычисление разности суммарных высот образующих вышестоящих поясов ΔF_k, проходящих через взаимно противоположные точки отложений хорды, проводят по формуле

$$\Delta F_k = H_k - H_{(0,5 \cdot m_3 + k)}, \qquad (В.8)$$

где $H_k, H_{(0,5 \cdot m_3 + k)}$ - суммарные высоты образующих вышестоящих поясов, проходящих через k-ю и $(0,5 \cdot m_3 + k)$-ю точки отложений хорды, измеренные в соответствии с 10.2.5;

k - номер отложений хорды, принимаемый из ряда: 1,2,3,..., m_3;

m_3 - число отложений хорды S_3.

В.5.2 Строят график (рисунок Б.3) функции ΔF_k.

В.5.3 Если кривая, соединяющая точки графика ΔF_k относительно абсциссы, образует примерно общую синусоиду с периодом, равным отрезку 1-m_3 (кривая В на рисунке Б.3), то резервуар стоит наклонно, если нет (кривая С) - резервуар стоит вертикально.

В.5.4 Степень наклона резервуара η вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{\pi \cdot A}{L_ц}, \qquad (В.9)$$

где А - амплитуда синусоиды. Ее значение определяют по графику ΔF_k (рисунок Б.3);

$L_ц$ - внутренняя длина окружности первого пояса вычисляемая по формуле (В.2).

В.5.5 Результат вычисления η вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

В.6 Вычисление угла направления наклона резервуара

В.6.1 Угол φ в градусах направления наклона резервуара вычисляют по формуле

$$\varphi = \frac{360}{m_3} \cdot N_1 + n_1, \qquad (B.10)$$

где N_1, n_1 - числа отложений основной и дополнительной хорд,, принимаемые по таблице А.8.

В.6.2 Результат вычисления φ вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

В.7 Вычисление угла направления внутренней детали

В.7.1 Угол φ_1 (рисунок Б.4) в градусах вычисляют по формуле

$$\varphi_1 = \frac{360}{m_3} \cdot N_3 + n_3, \qquad (B.11)$$

где N_3, n_3 - числа отложений основной и дополнительной хорд,, принимаемые по таблице А.13.

В.7.2 Результат вычисления φ_1 вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

В.8 Вычисление угла направления приемно-раздаточного патрубка

В.8.1 Угол φ_2 (рисунок Б.4) в градусах вычисляют по формуле

$$\varphi_2 = \frac{360}{m_3} \cdot N_2 + n_2, \qquad (B.12)$$

где N_2, n_2 - числа отложений основной и дополнительной хорд,, принимаемые по таблице А.10.

В.8.2 Результат вычисления φ_2 вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

В.9 Вычисление вместимости «мертвой» полости резервуаров

В.9.1 Объем неровностей днища $(\Delta V'_{дн})_0$ при отсутствии центральной трубы вычисляют по формуле

$$(\Delta V'_{дн})_0 = \frac{L_ц^2}{4\pi \cdot 10^9} \cdot (0{,}005104 \cdot f_1 + 0{,}02281 \cdot f_2 + 0{,}03863 \cdot f_3 + 0{,}05455 \cdot f_4 +$$

$$+0{,}07038 \cdot f_5 + 0{,}08513 \cdot f_6 + 0{,}10018 \cdot f_7 + 0{,}11645) \cdot f_8) \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\eta^2}}, \qquad (В.13)$$

где $L_ц$ - длина внутренней окружности первого пояса ,вычисляемая по формуле (В.2).

$f_1, f_2, f_3, ..., f_8$ - расстояния по вертикали между концентрическими окружностями неровностей днища, вычисляемые по формуле

$$f_j = \sum_{i=1}^{8} (b_{ji} - b_{(j-1)i}), \qquad (В.14)$$

где b_j, b_{j-1} - отсчеты по рейке, установленной по периметру j - й и $(j-1)$-й концентрических окружностей. Значения b_j, b_{j-1} принимают по таблице А.11;

η - степень наклона резервуара, вычисляемая по формуле (В.9).

При наличии центральной трубы внутри резервуара величины b_j и b_{j-1} вычисляют по формулам

$$b_{ji} = \frac{b'_{ji} + b''_{ji}}{2}; \qquad b_{(j-1)i} = \frac{b'_{(j-1)i} + b''_{(j-1)i}}{2},$$

где b'_{ji}, b''_{ji} ; $b'_{(j-1)i}, b''_{(j-1)i}$ - показания рейки, устанавливаемой во взаимно противоположных точках j-й, $(j-1)$-й концентрических окружностях. Результаты вычислений величины f_i вносят в таблицу Г.2.

В.9.2 Объем неровностей днища $(\Delta V''_{дн})_0$ при наличии центральной трубы вычисляют по формуле

$$(\Delta V''_{дн})_0 = \frac{L_ц^2}{4\pi \cdot 10^9} \{[0{,}005104 + 0{,}09163 \cdot \frac{r_0}{L_ц} + 1{,}6449 \cdot \left(\frac{r_0}{L_ц}\right)^2] \cdot f_1 +$$

$$+ 0{,}02281 \cdot f_2 + 0{,}03863 \cdot f_3 + 0{,}05455 \cdot f_4 + 0{,}07038 \cdot f_5 +$$

$$+ 0{,}08513 \cdot f_6 + 0{,}10018 \cdot f_7 + 0{,}116445 \cdot f_8\} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\eta^2}}, \qquad (В.15)$$

где r_0 - радиус центральной трубы;

$L_ц$ - длина внутренней окружности первого пояса;

$f_1, f_2, f_3, ..., f_8$ - расстояния по вертикали между концентрическими окружностями неровностей днища. Величины $f_2, f_3, ..., f_8$ вычисляют по формуле (В.14), а величину f_1 вычисляют по формуле

$$f_1 = \sum_{i=1}^{8} b_{1,i} - \sum_{i=1}^{8} b_{0,i},$$

где $b_{0,i}$ - показание рейки, установленной по стенке центральной трубы в i-ю точку окружности, образованной в стыке центральной трубы и неровностей днища.

В.9.3 Высоту превышения точки касания днища грузом рулетки с учетом наклона резервуара $f_л$ (рисунок Б.5) вычисляют по формуле

$$f_л = \eta \cdot \sqrt{1+\eta^2} \cdot \left[H_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} + \frac{b_{8.1} - b_л \cdot \sqrt{1+\eta^2}}{\eta} - l_0 \cdot \cos\varphi \right], \qquad (В.16)$$

где η - степень наклона резервуара;

φ - угол направления наклона резервуара ;

$H_Б$ - базовая высота резервуара;

$b_{8.1}$ – показание рейки, установленной в точке пересечения восьмой окружности (окружности стенки резервуара) и первого радиуса, принимаемое по таблице А.11;

$b_л$ - показание рейки в точке касания днища грузом рулетки, принимаемое по таблице А.12;

l_0 – координата точки отсчета значений уровня жидкости и базовой высоты, вычисляемая по формуле

$$l_0 = l_л - Н_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}, \qquad (В.17)$$

где $l_л$ -расстояние от точки касания днища грузом рулетки до стенки резервуара (рисунок Б.4). Ее значение принимают по таблице А.9 приложения А.

В.9.4 Уровень жидкости в резервуаре $Н_{м.п}$, соответствующий высоте «мертвой» полости , вычисляют по формуле

$$Н_{м.п} = \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}\left[Н_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} + \frac{h_{м.п}}{\eta} - \frac{f_л}{\eta \cdot \sqrt{1+\eta^2}} - \frac{L_ц}{2\pi} \cdot \cos(\varphi - \varphi_2) + \left(\frac{L_ц}{2\pi} - l_0\right) \cdot \cos\varphi\right], \qquad (В.18)$$

где $h_{м.п}$ - высота «мертвой» полости, измеренная в соответствии с 10.7.1 настоящей рекомендации;

$f_л$ - высота превышения точки касания днища грузом рулетки, вычисляемая по формуле (В.16);

φ_2 - угол между плоскостью, проходящую через центры измерительного люка и резервуара, и плоскостью, проходящую между центрами резервуара и приемно-раздаточного патрубка (рисунок Б.4), вычисляемый по формуле (В.12).

В.9.5 Уровень жидкости в резервуаре, соответствующий вместимости днища (рисунок Б.6), $Н_0$ вычисляют по формуле

$$Н_0 = \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}\left[(Н_Б + f_л) \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} + \frac{L_ц}{2\pi} + \left(\frac{L_ц}{2\pi} - l_0\right) \cdot \cos\varphi\right]. \qquad (В.19)$$

В.9.6 Уровень жидкости в резервуаре $Н'_0$, от точки касания днища грузом рулетки до уровня $Н_0$ (рисунок Б.6), вычисляют по формуле

$$Н'_0 = Н_0 - f_л. \qquad (В.20)$$

В.9.7 Вычисление объема неровностей днища

В.9.7.1 Неровности днища могут находиться в пределах «мертвой» полости (рисунок Б.7) или вне ее (рисунок Б.8).

В.9.7.2 Высоту неровностей днища f_0 вычисляют по формуле

$$f_0 = \frac{12\pi \cdot (\Delta V_{дн})_0}{L_ц^2} \cdot 10^9, \qquad (В.21)$$

где $(\Delta V_{дн})_0$ - объем неровностей днища, вычисляемый по формуле (В.13) или по формуле (В.15);

$L_ц$ - внутренняя длина окружности первого пояса резервуара, вычисляемая по формуле (В.2).

В.9.7.3 Объем неровностей днища ΔV_0, соответствующий уровню H_0 или уровню H'_0 (в случае выполнения условия $f_л \le H_0$), при расположении измерительного люка ближе к опущенному (из-за наклона резервуара) краю кровли резервуара (рисунок Б.6) вычисляют по формуле

$$\Delta V_0 = \frac{\pi \cdot R^2}{3 \cdot 10^9} \cdot \left[f_0 \cdot (1 - \nu_1) \cdot (1 + \nu_1 + \nu_1^2) + R \cdot \eta \cdot \nu_1^3 \cdot (1 + \lambda + \lambda^2) \right]. \qquad (В.22)$$

В.9.7.4 Объем неровностей днища $\Delta V(H)'_{дн}$ при уровне выше уровня H'_0 через каждое изменение уровня на 1 см вычисляют по формуле

$$\Delta V(H)'_{дн} = \Delta V_0 + \frac{\pi \cdot R^3 \cdot \eta}{3 \cdot 10^9} \cdot (1 + \lambda + \lambda^2) \left[\nu_1^3 \cdot \lambda + (\nu_1 - x)^3 \right] +$$

$$+ \frac{\pi \cdot R^2}{3 \cdot 10^9} \cdot \left[f_0 \cdot x - R \cdot \eta \cdot \nu_1 \cdot (1 + \lambda) \right] \cdot \left[\nu_1^2 \cdot \lambda^2 + \lambda \cdot \nu_1 \cdot (\nu_1 - x) + (\nu_1 - x)^2 \right] . \qquad (В.23)$$

В.9.7.5 Объем неровностей днища $\Delta V_л$, соответствующий точке касания днища грузом рулетки (в случае выполнения условия $f_л > H_0$), вычисляют по формуле

$$\Delta V_л = \frac{\pi \cdot R^2}{3 \cdot 10^9} \left[f_0 \cdot (1 - \nu_2)(1 + \nu_2 + \nu_2^2) + R \cdot \eta \cdot \nu_2^3 \cdot (1 + \lambda + \lambda^2) \right]. \qquad (В.24)$$

В.9.7.6 Объем неровностей днища $\Delta V(H)''_{дн}$ при уровне выше точки касания днища грузом рулетки через каждое изменение уровня на 1 см вычисляют по формуле

$$\Delta V(H)''_{дн} = \Delta V_{л} + \frac{\pi \cdot R^3 \cdot \eta}{3 \cdot 10^9} \cdot (1 + \lambda + \lambda^2) \cdot \left[\nu_2^3 \cdot \lambda + (\nu_2 - z)^3 \right] +$$

$$+ \frac{\pi R^2}{3 \cdot 10^9} \cdot \left[f_0 \cdot z - R \cdot \eta \cdot \nu_2 \cdot (1 + \lambda) \right] \cdot \left[\lambda^2 \cdot \nu_2^2 + \lambda \cdot \nu_2 \cdot (\nu_2 - z) + (\nu_2 - z)^2 \right]. \qquad (В.25)$$

В.9.7.7 Величины $\nu_1, \nu_2, \lambda, x, R, z$, входящие в формулы (В.22) - (В.25), вычисляют по формулам

$$\nu_1 = \frac{f_0}{f_0 - R \cdot \eta} \left\{ 1 - \frac{f_{л}}{f_0 \cdot \sqrt{1 + \eta^2}} + \frac{\eta}{f_0} \left[H_{Б} \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1 + \eta^2}} + (R - l_0) \cdot \cos\varphi \right] \right\}; \qquad (В.26)$$

$$\nu_2 = \frac{f_0}{f_0 - R \cdot \eta} \left\{ 1 - \frac{f_{л}}{f_0 \cdot \sqrt{1 + \eta^2}} - \frac{\eta}{f_0} \left[(R - l_0) \cdot \cos(180 - \varphi) - H_{Б} \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1 + \eta^2}} \right] \right\}; \qquad (В.27)$$

$$\lambda = \frac{f_0 - R \cdot \eta}{f_0 + R \cdot \eta}; \qquad x = \frac{(H - H'_0) \cdot \sqrt{1 + \eta^2}}{f_0 - R \cdot \eta}; \qquad R = \frac{L_{ВН}}{2\pi}; \qquad z = \frac{H \cdot \sqrt{1 + \eta^2}}{f_0 - R \cdot \eta},$$

где f_0 - высота неровностей днища, вычисляемая по формуле (В.21);

H_0, H'_0 - величины, вычисляемые по формулам (В.19), (В.20);

η - степень наклона резервуара, вычисляемая по формуле (В.9);

$f_{л}$ - высота превышения точки касания днища грузом рулетки, вычисляемая по формуле (В.16) ;

φ - угол направления наклона резервуара;

l_0 - величина, вычисляемая по формуле (В.17) ;

H - уровень жидкости в резервуаре , отсчитываемый от точки касания днища грузом рулетки.

В.9.7.8 Величины ΔV_0, $\Delta V(H)'_{дн}$ вычисляют по формулам (В.22) и (В.23) при значении параметра ν_1, равном единице.

В.9.7.9 Формулы (В.23) и (В.25) применяют при определении посантиметровой вместимости «мертвой» полости, если выполняются условия:

а)значения величин ν_1 и ν_2 в формулах (В.26), (В.27) находятся в пределах:

$$0< \nu_1< 1;$$

$$0<\nu_2<1;$$

б) значение величины $\Delta V(H)'_{дн}$ по формуле (В.23) или величины $\Delta V(H)''_{дн}$ по формуле (В.25) отличается от значения определенного по формуле (В.13) или по формуле (В.15), не более чем на 0,25%.

В.9.7.10 В случае невыполнения условий В.9.7.9 определяют полную вместимость «мертвой» полости.

В.9.7.11 Если неровности днища выходят за пределы высоты «мертвой» полости (рисунок Б.8), то объем неровностей днища, вычисленный по формуле (В.23) или по формуле (В.24) от уровня $H_{м.п}$ до уровня $H_{н.д}$, (соответствующего высоте неровностей днища f_0), относят к объему внутренних деталей, находящихся выше уровня $H_{м.п}$.

В.9.7.12 Уровень жидкости $H_{н.д}$, соответствующий высоте неровностей днища f_0, вычисляют по формуле

$$H_{н.д} = \frac{f_0}{\sqrt{1+\eta^2}}\left\{1-\frac{f_л}{f_0\sqrt{1+\eta^2}}+\frac{\eta}{f_0}\left[H_Б\cdot\frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}+\left(\frac{L_{вн}}{2\pi}-l_0\right)\cdot\cos\varphi\right]\right\}. \qquad (В.28)$$

В.9.8 Результаты вычислений $H_{м.п}, H_0, H'_0, f_л, f_0, H_{н.д}, (\Delta V_{дн})_0$ вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г..

В.10 Вычисление посантиметровой вместимости «мертвой» полости резервуара

В.10.1 Посантиметровую вместимость «мертвой» полости резервуара в пределах уровня $H_{н.д}$, вычисляют:

а) для случая выполнения условия $f_л \leq H_0$ (рисунок Б.6) вычисляют по формуле

$$V(H)'_{м.п} = \frac{L_ц^2 \cdot \eta}{4\pi \cdot 10^9} \cdot \left[\frac{L_ц}{2\pi} + (H + f_л - H_0) \cdot \frac{\sqrt{1+\eta^2}}{\eta} \right] - \Delta V(H)'_{д.н} \pm \Delta V'_{в.д}; \qquad (В.29)$$

б) для случая выполнения условия $f_л > H_0$ вычисляют по формуле

$$V(H)''_{м.п} = \frac{L_ц^2 \cdot \eta}{4\pi \cdot 10^9} \cdot \left[\frac{L_ц}{2\pi} + (H + f_л - H_0) \cdot \frac{\sqrt{1+\eta^2}}{\eta} \right] - \Delta V(H)''_{д.н} \pm \Delta V'_{в.д}, \qquad (В.30)$$

где $\Delta V(H)'_{д.н}$, $\Delta V(H)''_{д.н}$ - объемы неровностей днища, вычисляемые через каждое изменение уровня на 1 см по формулам (В.23), (В.25);

H_0 - уровень жидкости в резервуаре, соответствующий вместимости днища, вычисляемый по формуле (В.19);

$\Delta V'_{в.д}$ - объем внутренних деталей, находящихся в «мертвой» полости.

В.10.2 Градуировочную таблицу составляют в случае применения формулы (В.29), начиная с уровня H'_0 (рисунок Б.6).

В.10.3 Посантиметровую вместимость «мертвой» полости $V(H)_{м.п}$ в пределах уровня $H_{м.п}$, соответствующего высоте «мертвой» полости $h_{м.п}$, вычисляют по формуле

$$V(H)_{м.п} = V^*_{м.п} + \frac{L_{вн}^2 \cdot \sqrt{1+\eta^2}}{4\pi \cdot 10^9} (H - H_{н.д}) \pm \Delta V'_{в.д}, \qquad (В.31)$$

где $V^*_{м.п}$ - вместимость «мертвой» полости, вычисляемая по формуле (В.29) или по формуле (В.30) при уровне $H_{н.д}$.

Уровень жидкости в резервуаре $H_{м.п}$ вычисляют по формуле (В.18).

В.11 Вычисление базовой и исходной высот

В.11.1 Базовую высоту $H_Б$ вычисляют по формуле

$$H_Б = \frac{H_{Б1} + H_{Б2}}{2}. \qquad (В.32)$$

В.11.2 Исходную высоту $H_и$ вычисляют по формуле

$$H_и = H_Б - H_{м.п}. \qquad (В.33)$$

В.11.3 Результаты вычислений $H_Б$, $H_и$ вносят в журнал, форма которого приведена в приложении Г.

В.12 Вычисление посантиметровой вместимости резервуара

В.12.1 Посантиметровую вместимость резервуара вычисляют при уровнях выше исходного уровня (уровня, соответствующего высоте «мертвой» полости $H_{м.п}$).

В.12.2 Посантиметровую вместимость первого пояса резервуара $V(H)_1$ от точки касания днища грузом рулетки до уровня H_1, соответствующего высоте 1-го пояса h_1, вычисляют по формуле

$$V(H)_1 = V_{м.п} + \frac{L_ц^2 \cdot \sqrt{1+\eta^2}}{4 \cdot \pi \cdot 10^9} \cdot (H - H_{м.п}) \pm \Delta V_{в.д}, \qquad (В.34)$$

где $V_{м.п}$ - вместимость «мертвой» полости, вычисляемая по формуле (В.31);

$L_ц$ - длина внутренней окружности первого пояса;

$H_{м.п}$ - уровень, соответствующий высоте «мертвой» полости;

η - степень наклона резервуара;

$\Delta V_{в.д}$ - объем внутренних деталей, находящихся выше уровня $H_{м.п}$.

Уровень H_1 вычисляют по формуле

$$H_1 = \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \left[H_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} + \frac{h_1}{\eta} - \frac{f_л}{\eta \cdot \sqrt{1+\eta^2}} - \frac{L_ц}{2\pi} + \left(\frac{L_ц}{2\pi} - l_0 \right) \cdot \cos\varphi \right]. \qquad (В.35)$$

В.12.3 Вычисление посантиметровой вместимости резервуара на участке стыка поясов

В.12.3.1 Посантиметровую вместимость резервуара на участке стыка (i -1)-го и i - го поясов (рисунок Б.5) $V(H)_{zi}$ в пределах уровня от H_{i-1} до $(H_{i-1} + z_i)$ вычисляют по формуле

$$V(H)_{zi} = \frac{\eta}{8 \cdot \pi^2 \cdot 10^9} \cdot \left[L^3_{u(i-1)} \cdot (\pi - J_{i-1}) + L^3_{ui} \cdot J_i \right], \qquad (B.36)$$

где $L_{u(i-1)}$, L_{ui} - длины внутренних окружностей (i -1)-го и i - го поясов, вычисленные по формуле (В.7).

В.12.3.2 Величины J_{i-1}, J_i вычисляют по формулам

$$J_{i-1} = \sin\alpha_{i-1} - \frac{\sin\alpha^3_{i-1}}{3} - \alpha_{i-1} \cdot \cos\alpha_{i-1};$$

$$J_i = \sin\alpha_i - \frac{\sin\alpha^3_i}{3} - \alpha_i \cdot \cos\alpha_i,$$

где $\alpha_{i-1} = \pi - \arccos\left[1 - \frac{(H - H_{i-1})\sqrt{1+\eta^2}}{\eta \cdot R_{i-1}}\right];$

$\alpha_i = \pi - \arccos\left[1 - \frac{(H - H_{i-1})\sqrt{1+\eta^2} + \delta_i}{\eta \cdot R_i}\right]$; или $\alpha_i = \pi - \arccos\left[1 - \frac{(H - H_{i-1})\sqrt{1+\eta^2} - \delta_i}{\eta \cdot R_i}\right];$

$$R_{i-1} = \frac{L_{u(i-1)}}{2\pi}; \qquad R_i = \frac{L_{ui}}{2\pi}; \qquad z_i = \frac{L_{u(i-1)} \cdot \eta}{\pi \cdot \sqrt{1+\eta^2}}; \qquad (B.37)$$

H - текущий уровень жидкости в резервуаре;

η - степень наклона резервуара;

i - номер пояса. Его значения выбирают из ряда: 2,3,4.. .*n*;

n - число поясов резервуара.

В.12.3.3 Уровень жидкости H_{i-1} вычисляют по формуле

$$H_{i-1} = \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \left[H_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} + \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{l=1}^{i-1} h_l - \frac{f_л}{\eta \cdot \sqrt{1+\eta^2}} - \frac{L_u}{2\pi} + \left(\frac{L_u}{2\pi} - l_0 \right) \cdot \cos\varphi \right]. \qquad (B.38)$$

В.13 Вычисление поправок к вместимости резервуара

В.13.1 Поправку к посантиметровой вместимости резервуара за счет гидростатического давления жидкости, приходящуюся на 1 см изменения уровня, при наполнении i-го пояса ΔV_{ri} вычисляют по формуле:

$$\Delta V_{ri} = A_1 \cdot \left(0{,}8 \cdot \frac{h_1}{\delta_1} + \sum_{l=2}^{i} \frac{h_l}{\delta_l} - \frac{h_i}{2\delta_i} \right); \qquad \text{(В.39)}$$

где h_i, δ_i - высота и толщина стенки i-го пояса. Значение i выбирают в формуле (В.39) из ряда: 2,3,4,...,n ;

n - число поясов резервуара.

Величину A_1 вычисляют по формуле

$$A_1 = \frac{g \cdot \rho_{ж.х} \cdot L_ц^2 \cdot \sqrt{1+\eta^2}}{4 \cdot \pi^2 \cdot 10^{11} \cdot E},$$

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

$\rho_{ж.х}$ - плотность хранимой жидкости;

$L_ц$ - длина внутренней окружности первого пояса;

E - модуль упругости материала, Па, (для стали E=2,1·10^{11} Па).

В.13.1.1 Поправку к посантиметровой вместимости резервуара вводят, начиная с уровня H_1, соответствующего высоте первого пояса h_1, вычисляемого по формуле (В.35).

В.13.1.2 Поправку к посантиметровой вместимости резервуара, приходящуюся на 1 см изменения уровня, при наполнении второго пояса ΔV_{r2}, м^3/см, вычисляют по формуле

$$\Delta V_{r2} = A_1 \cdot \left[0{,}8 \cdot \frac{h_1}{\delta_1} + \frac{h_2}{\delta_2} - \frac{h_2}{2\delta_2} \right],$$

где h_1, h_2 - высоты первого и второго поясов, мм;

δ_1, δ_2 - толщины стенок первого и второго поясов, мм.

В.13.1.3 Поправку к посантиметровой вместимости резервуара, приходящуюся на 1 см изменения уровня, при наполнении третьего, четвертого,...., i -го поясов вычисляют по формуле (В.39).

В.13.2 Все пояса резервуара разбивают на участки высотой, равной примерно 1 м. В этом случае индекс i означает номер участка.

В.13.3 Результаты вычислений ΔV_{ri} для уровней наполнения от 3 м вносят в таблицу Г.3 .

В.14 Вычисление объема внутренних деталей

В.14.1 Объем внутренней детали цилиндрической формы, расположенной вертикально, $(\Delta V_{в.д})^{в}_{ц}$ вычисляют по формуле

$$(\Delta V_{в.д})^{в}_{ц}=\frac{\pi \cdot d_д^2 \cdot \sqrt{1+\eta^2}}{4 \cdot 10^9} \cdot (H - H^{н}_{д}), \qquad (В.40)$$

где $d_д$ - диаметр внутренней детали;

H - уровень жидкости в резервуаре;

$H^{н}_{д}$ - уровень, соответствующий нижней границы внутренней детали.

Объем внутренней детали по формуле (В.40) вычисляют до уровня $H^{н}_{д}$, соответствующего верхней границы внутренней детали.

В.14.2 Уровни $H^{н}_{д}$ и $H^{к}_{д}$ (рисунок Б.4) вычисляют по формулам

$$H^{н}_{д}=\frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}\left[H_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}+\frac{h^{н}_{д}}{\eta}-\frac{f_л}{\eta\sqrt{1+\eta^2}}-\left(\frac{L_ц}{2\pi}-l_д\right)\cdot\cos(\varphi-\varphi_1)+\left(\frac{L_ц}{2\pi}-l_0\right)\cdot\cos\varphi\right]; \qquad (В.41)$$

$$H^{к}_{д}=\frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}\left[H_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}}+\frac{h^{в}_{д}}{\eta}-\frac{f_л}{\eta\sqrt{1+\eta^2}}-\left(\frac{L_ц}{2\pi}-l_д\right)\cdot\cos(\varphi-\varphi_1)+\left(\frac{L_ц}{2\pi}-l_0\right)\cdot\cos(\varphi-\varphi_1)\right]. \qquad (В.42)$$

В.14.3 Вычисление объема внутренней детали, в виде змеевика теплообменника

В.14.3.1 Внутреннюю деталь в виде змеевика (рисунок Б.9) заменяют эквивалентным горизонтально расположенным параллелепипедом параметрами: длиной L_z, шириной b и высотой $d_д$ (диаметр трубки змеевика).

В.14.3.2 Длину параллелепипеда (далее - внутренняя деталь) L_z вычисляют по формуле

$$L_z = \frac{\pi \cdot (D_н - D_{вн})}{2},$$

где $D_н$, $D_{вн}$ - наружный и внутренний диаметры змеевика.

В.14.3.3 Ширину внутренней детали b вычисляют по формуле

$$b = \frac{\pi \cdot d_д}{4}.$$

В.14.3.4 Объем внутренней детали $(V_{в.д})^г_z$ вычисляют :

а) от уровня $H^н_z$ до уровня $(H^н_z + \frac{L_z \cdot \eta}{\sqrt{1+\eta^2}})$ по формуле

$$(V_{в.д})^г_{z0} = \frac{\pi \cdot (H - H^н_z)^2 \cdot (1+\eta^2) \cdot d_д}{8 \cdot \eta \cdot 10^9}, \qquad (В.43)$$

где н - уровень, отсчитываемый с точки касания днища грузом рулетки;

$H^н_z$ - уровень, соответствующий нижнему положению внутренней детали, вычисляемый по формуле

$$H^н_z = \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \left(H_Б \cdot \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} + \frac{h_д}{\eta} - \frac{f_л}{\eta \cdot \sqrt{1+\eta^2}} - l_0 \cdot \cos\varphi \right);$$

б) от уровня $(H^н_z + \frac{L_z \cdot \eta}{\sqrt{1+\eta^2}})$ до уровня $(H^н_z + \frac{d_д}{\sqrt{1+\eta^2}})$ по формуле

$$(V_{в.д})^г_{z1} = \frac{\pi \cdot d_д \cdot L_z}{4 \cdot 10^9} \cdot \left(H - H^н_z - \frac{L_z \cdot \eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \right); \qquad (В.44)$$

в) от уровня $(H^н_z + \frac{d_д}{\sqrt{1+\eta^2}})$ до уровня $(H^н_z + \frac{d_д + L_z \cdot \eta}{\sqrt{1+\eta^2}})$ по формуле

$$(V_{в.д})^г_{z2} = \frac{\pi \cdot d_д}{8 \cdot \eta \cdot 10^9} \cdot \left[(L_z \cdot \eta + d_д) - (H - H^н_z) \cdot \sqrt{1+\eta^2} \right]^2. \qquad (В.45)$$

Приложение Г

Форма журнала обработки результатов измерений

Ж У Р Н А Л
обработки результатов измерений

Г.1 Вычисление длины внутренней окружности первого пояса

$$L_{ц} = \cdots \text{мм}.$$

Г.2 Вычисление длин внутренних окружностей и высот вышестоящих поясов

Таблица Г.1

Обозначение параметра	Значение параметра для пояса										
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
L_{ui}											
h_i											

Г.3 Вычисление степени наклона резервуара

$$\eta = \cdots .$$

Г.4 Вычисление угла направления наклона резервуара

$$\varphi = \cdots .$$

Г.5 Вычисление угла направления внутренней детали

$$\varphi_1 = \cdots .$$

Г.6 Вычисление угла направления приемно-раздаточного патрубка

$$\varphi_2 = \cdots .$$

Г.7 Вычисление базовой высоты

$$H_{Б} = \cdots \text{ мм}.$$

Г.8 Вычисление исходной высоты

$$H_{и} = \cdots \text{ мм}.$$

Г.9 Вычисление вместимости «мертвой» полости

Таблица Г.2

В миллиметрах

Обозначение величины	Значение для номера окружности								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
f_j									

$H_{м.п} = \cdots$ мм; $(\Delta V_{дн})_0 = \cdots м^3$;

$H_0 = \cdots$ мм; $f_л = \cdots$ мм;

$f_0 = \cdots$ мм; $H'_0 = \cdots$ мм;

$H_{н.д} = \cdots$ мм; $H_{пр} = \cdots$ мм.

Г.10 Вычисление поправки к вместимости пояса резервуара за счет гидростатического давления жидкости

Таблица Г.3

Номер пояса	Номер участка	Высота участка, мм	Уровень наполнения,мм	$\Delta V_{гi}$, $м^3$
1	1	1000	-	-
	2	1100	-	-
2	3	900	3000	0,0069222222
	4	900	3900	0,013033333
3	5	850	4750	0,020976470
	6	850	5600	0,029317640
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...

Г.11 Составление градуировочной таблицы

Таблица Г.4

Уровень заполнения, см	Вместимость, $м^3$	Коэффициент вместимости, $м^3/мм$ [*4]
$H^*_{мп}$	508,502[**]	1,068
$H_{м.п}+1$	519,183	1,066
$H_{м.п}+2$	529,844	
...	...	...
...	...	...

Окончание таблицы Г.4

$H_{м.п}+50^{***}$	1030,722	1,019
$H_{м.п}+51$	1040,912	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
H_{max}	...	...

* Уровень жидкости в резервуаре, измеренный через измерительный люк от точки касания днища грузом рулетки.

** Вместимость «мертвой» полости.

*** Уровень всплытия плавающего покрытия.

*4 Коэффициент вместимости, равный

$$\frac{519{,}183 - 508{,}502}{10} = 1{,}068 \ \text{м}^3/\text{мм}.$$

Вычисления провел

_____
подпись, инициалы, фамилия

«__»_____200_ г.

Приложение Д

Основные технические требования к стальным вертикальным цилиндрическим теплоизолированным резервуарам, влияющие на их вместимость

Д.1 Резервуары стальные вертикальные цилиндрические теплоизолированные (далее-резервуары) должны быть изготовлены по рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке, и с учетом требований настоящего приложения Д.

Д.2 Резервуары после их изготовления и капитального ремонта подлежат гидравлическому испытанию на герметичность и прочность, а также проверке на прочность и устойчивость от ветровой и снеговой нагрузок в соответствии с [4].

Д.3 Новые типы резервуаров, предназначенные для проведения государственных учетных и торговых операций с нефтью и нефтепродуктами и их хранения, а также взаимных расчетов между поставщиком и потребителем, должны подвергаться обязательным испытаниям для целей утверждения типа.

Д.4 Резервуары подразделяют:

по номинальной вместимости: 100; 200; 300; 400; 700; 1000; 2000; 3000;(4000); 5000; 10000; 15000; 20000; 30000; 50000 $м^3$;

по значению внутреннего избыточного давления - низкого давления и высокого давления.

Д.5 Резервуары имеют стационарную кровлю, наземное расположение и систему подогрева продукта, по принципу действия - закрытые.

Д.6 Резервуары для подогрева продукта должны иметь систему подогрева: змеевики теплообменника или другие устройства.

Д.7 Резервуары и их оборудование изготавливают из металла, обладающего достаточной устойчивостью к физическому и химическому воз-

действиям рабочей жидкости и окружающей среды. Резервуары должны быть рассчитаны на избыточные внутренние давления в газовом пространстве: низкое до 0,002 МПа , повышенное до 0,069 МПа и вакуум 0,001 МПа.

Д.8 Резервуар после строительства и капитального ремонта подлежит первичной поверке, а при эксплуатации и внесении в резервуар конструктивных изменений, влияющих на его вместимость - периодической поверке.

Д.9 При эксплуатации обеспечивают полное наполнение и полное опорожнение резервуара без образования воздушных мешков.

Д.10 Трубы для подвода и вывода жидкости из резервуара изготавливают так, чтобы при измерениях уровня жидкости была исключена возможность притока или выхода жидкости произвольным образом .

Д.11 Резервуары могут быть оснащены стационарно встроенными элементами: пеноотводами, мешалками, уровнемерами, стационарными пробоотборниками, измерителями (датчиками) температуры и плотности, массомерами и другими устройствами.

Д.12 Резервуары теплоизолируют после их поверки.

Д.13 Для ручных измерений уровня жидкости резервуар должен иметь измерительный люк с направляющей планкой, изготовленной из бронзы или латуни. При этом планка должна иметь риску для отсчета при измерениях уровня жидкости и базовой высоты резервуара.

Д.14 К кронштейну измерительного люка резервуаров, испытанных с целью утверждения типа в соответствии с Д.3, прикрепляют табличку по ГОСТ 12971. Табличку для резервуаров, изготовленных до введения настоящей рекомендации, прикрепляют к их перилам.

Д.15 На табличку, прикрепленную в соответствии с Д.14, наносят :

- номер резервуара;
- значение базовой высоты;

- номер свидетельства о поверке, после которого через вертикальную или горизонтальную черту указывают две последние цифры года проведения поверки;

- сокращенное название организации, выдавшей свидетельство о поверке;

- оттиск поверительного клейма.

Табличку изготавливают из металла, устойчивого к воздействию паров нефти и нефтепродуктов, атмосферных осадков и крепят таким образом, чтобы ее невозможно было снять без разрушения поверительного клейма. Устанавливают табличку после первичной поверки и меняют после каждой периодической поверки резервуара.

Д.16 Нормируемые метрологические характеристики резервуара:

- базовая высота;

- степень наклона;

- вместимость.

Д.16.1 Базовую высоту резервуара измеряют ежегодно. Ее значение не должно изменяться более, чем на 0,1 %.

Д 16.2 Значение степени наклона резервуара не должно быть более 0,03.

Д.16.3 Пределы погрешности определения вместимости резервуара ± 0,25 %.

Д.17 Пределы допускаемой относительной погрешности измерений уровня жидкости в резервуаре ± 0,1 %.

Д.18 Резервуары подлежат первичной и периодической поверкам. Межповерочный интервал для всех типов вертикальных резервуаров должен быть не более 5 лет.

Приложение Е

Форма титульного листа градуировочной таблицы и форма градуировочной таблицы

Е.1 Форма титульного листа градуировочной таблицы

УТВЕРЖДАЮ[1)]

«_____»_____ 200__г.

ГРАДУИРОВОЧНАЯ ТАБЛИЦА
на стальной вертикальный цилиндрический теплоизолированный резервуар
_____ N_____
(тип)

Организация_____

Погрешность определения вместимости _____

Участок ниже $H_{м.п}$ = ···· мм для государственных учетных и торговых операций с нефтью и нефтепродуктами, взаимных расчетов между поставщиком и потребителем не используют.

Программа расчета градуировочной таблицы на ПЭВМ утверждена ФГУП ВНИИР-ГНМЦ
«___»_____200__г.

Срок очередной поверки _____

Поверители

_____
подпись

_____
должность, инициалы, фамилия

_____
подпись

_____
должность, инициалы, фамилия

_____
подпись

_____
должность, инициалы, фамилия

[1)] Градуировочную таблицу утверждают в соответствии с 13.4 настоящей рекомендации

Е.2 Форма градуировочной таблицы

Организация_____

Резервуар №_____

Таблица Е.1 - Посантиметровая вместимость...пояса резервуара

Лист...

Уровень наполнения, см	Вместимость, $м^3$	Уровень наполнения, см	Вместимость, $м^3$
$Н_{м.п}$			
$Н_{м.п}+1$			
$Н_{м.п}+2$			
...			
...			
...			
...			
...			
...			

Таблица Е.2 - Средняя вместимость ... пояса резервуара в пределах вместимости, приходящейся на 1 см высоты наполнения

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

Приложение Ж

Библиография

[1] ТУ 257761.007-87 Толщиномер ультразвуковой УТ-93П.

[2] ТУ ДКТЦ 4134441.102 Анализатор - течеискатель АНТ-2М;

[3] ПР 50.2.006-94 ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения.

[4] СН и П II -23-81 Нормы проектирования. Стальные конструкции

УДК 53.089.6: 621.642.2/3.001.4: 531.73: 006.354 МКС 17.020 Т 88.1 ОКСТУ 0008

Ключевые слова : вместимость, резервуар, наклон, жидкость, погрешность, уровень, градуировка, поверка, температура, плотность, всплытие, наполнение, опорожнение, операция, количество, давление.

Начальник НИО-7
руководитель темы, к.т.н. Б. Г. Хусаинов

Ведущий научный сотрудник НИО-7
исполнитель, к.т.н. М. М. Мигранов