

64
1-10
В. И. Кандеев и Е. Ф. Ботляр

621.642.3

R19

У.
РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

Стальные резервуары

Под редакцией и с предисловием
академика В. Г. ШУХОВА

Д Е П

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

46076

1789, 31008
РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР
Инв. № 3637

Б. И. Кандеев
РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР
ИЗДАТЕЛЬСТВО
ХИМИИ БССР
1984 Ленинград

В труде инженеров Кандеева и Котляра «Стальные резервуары» дано полное и ясное решение теоретических и конструктивных вопросов в области резервуаростроения, сопровождаемые изложением производства работ, а также расчетом конструкций и описанием процессов электросварки.

Настоящий труд является ценным пособием для инженеров и техников при их работах в конструкторских бюро и на практике производства работ. Труд также может служить руководством для студентов вузов.

Редактор В. К. Запорожец. Оформил техредактор Е. Ф. Макс.
Подписал к печати И. М. Эвенсон. Выпускающий Е. И. Максимов.
Сдано в набор 19/IV—33 г. Подп. к печ. 19/XII—33 г. Инд. МС-81-5-2.
Изд. № 76. Тир. 3000 (Прог. ТКК № 126). Кол. печ. л. 22³/₄. Кол.
печ. зп. в листе 51600. Форм. бум. 63×94¹/₁₆. Уполн. Главлита
В-73748. Зак. 6705.
Фабрика книги «Красный пролетарий» издательства ЦК ВКП(б)
Партгизгиз. Москва, Краснопролетарская, 16.

Оглавление

Предисловие редактора	5
Предисловие авторов	8

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Общие сведения о резервуарах

1. Классификация резервуаров	7
2. Порядок составления проекта резервуара	9

ГЛАВА ВТОРАЯ

Материал стальных резервуаров

1. Прочность и допускаемые напряжения. Сортамент	10
2. Обработка стальных частей на заводе	11

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Заклепочные и сварные соединения

Заклепочные соединения

1. Общие сведения о заклепках	13
2. Форма, размеры и вес заклепок	14
3. Процесс клепки. Качество и пригонка заклепок. Чекалка. Оттяжка ласок	16
4. Типы заклепочных соединений. Расчет заклепочных соединений. Расчетные нормы	22
5. Прочные швы	24
6. Теория прочно-плотных швов	25
7. Плотные швы	35

Сварные соединения

8. Общие сведения о сварке	36
Классификация видов сварки	36
Преимущества сварки перед клепкой	36
Электрическая дуговая сварка	37
9. Типы сварных соединений и их расчет	42
10. Прочность и допускаемые напряжения сварных соединений	53
11. Основные принципы проектирования сварных конструкций	55

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Резервуары для хранения нефти и ее продуктов

Вертикальные резервуары

1. Общая теория тонкостенных сосудов и приложение ее к расчету вертикальных цилиндрических резервуаров	59
2. Определение основных размеров вертикальных цилиндрических резервуаров с плоскими днищами	62

Резервуары с переменной толщиной стенок	63
Резервуары с постоянной толщиной стенок	66
§ 3. Расчет вертикальных цилиндрических резервуаров с плоскими днищами	68
Общие соображения	88
Общий метод расчета вертикальных резервуаров	69
Расчет вертикальных резервуаров по стандартной таблице	74
Выбор типов швов при проектировании вертикальных резервуаров	80
§ 4. Конструкция корпусов вертикальных резервуаров	95
§ 5. Стропильные покрытия вертикальных резервуаров	109
Стропила на колоннах	113
Стропила без колонн	116
§ 6. Принадлежности вертикальных резервуаров и арматура	141
§ 7. Спецификации вертикальных резервуаров	152
§ 8. Вес вертикальных резервуаров и основные технические показатели	154
§ 9. Сборка и установка клепаных вертикальных резервуаров	161
§ 10. Испытание вертикальных резервуаров	165

Горизонтальные резервуары

§ 11. Стационарные резервуары	165
Горизонтальные резервуары с плоскими днищами	166
Горизонтальные резервуары со сферическими днищами	173
Опоры	173
Арматура	174
Испытание резервуара	175
Измерение объема	176
§ 12. Резервуары-цистерны	177

ГЛАВА ПЯТАЯ

Резервуары для хранения воды

Цилиндрические резервуары

§ 1. Резервуары с плоскими днищами	180
§ 2. Резервуары с пространственными днищами	184
Сферические и полусферические днища	184
Конические днища	217
Резервуары с днищами системы Иксте	221
§ 3. Опоры под резервуары для воды	236
1. Сетчатые опоры Шухова	236
2. Опоры американского типа	268

Прямоугольные резервуары

§ 4. Конструкция прямоугольных резервуаров	289
1. Резервуары с внутренними связями	289
2. Резервуары без внутренних связей	290
§ 5. Расчет прямоугольных резервуаров	304

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Резервуары специального назначения

311

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Сварные резервуары

§ 1. Сварные соединения в вертикальных резервуарах	314
§ 2. Расчет сварного резервуара	317
§ 3. Конструкция сварных резервуаров	320
§ 4. Порядок сварки вертикального резервуара	330
Приложения	333
Библиография	365

Предисловие редактора

Колоссальный рост нашей нефтяной и химической промышленности, а также коммунального хозяйства ставит в настоящий момент проблемы резервуаростроения весьма остро.

С этой точки зрения следует особо приветствовать выход в свет труда инж. В. И. Кандеева и инж. Е. Ф. Котляра «Стальные резервуары», являющегося весьма ценным вкладом в техническую литературу не только в области резервуаростроения, но и в части проектирования металлических конструкций в целом.

Полное и ясное решение теоретических и конструктивных вопросов, сопровождаемое изложением производства работ, а также расчетами конструкций и описанием процессов электросварки, делает настоящий труд необходимым учебным руководством для студентов вузов и ценным пособием для инженеров и техников при их работах в конструкторских бюро и на практике производства работ.

Почетный член Академии наук СССР В. Г. Шухов

Москва, июнь 1932

Предисловие авторов

Стальные резервуары представляют собой особую отрасль инженерных сооружений, мало известную широким кругам проектировщиков по металлическим конструкциям. Вопросы проектирования стальных резервуаров почти не освещены в технической литературе, как нашей, так и иностранной; вместе с тем требования к резервуаростроению возрастают все больше и больше в связи с громадным ростом нашей нефтяной и химической промышленности и ростом водоснабжения населенных мест.

Основоположителем в резервуарном деле у нас являются академики В. Г. Шухов, давно разрешивший все основные вопросы в этой области, оставшиеся действительными и актуальными и на сегодняшний день. Настоящий труд основан на практической работе авторов в области резервуаростроения под непосредственным руководством В. Г. Шухова с учетом всех новейших достижений в этом деле.

Вопросы взаимного соединения металлических частей играют особую важную роль при проектировании резервуаров, и действительное понимание природы этих соединений необходимо каждому конструктору, работающему в этой области; поэтому авторы сочли необходимым остановиться достаточно подробно на общей теории заклепочных и сварных соединений и осветить в кратких чертах производственную сторону клепки и сварки.

Совершенно естественно, что клепаные резервуары разработаны в настоящем труде много подробнее сварных, поскольку реальное проектирование сварных резервуаров ведется только последние полтора-два года; поэтому все решения в области сварных резервуаров никоим образом не могут считаться окончательными, и вопросы эти подлежат еще дальнейшему изучению. Данные же в настоящем труде решения должны рассматриваться как первые варианты.

При описании резервуаров для целей водоснабжения авторы сочли необходимым подробно осветить устройство опор (башен) для этих резервуаров, ибо те и другие конструкции тесно связаны между собой, представляя почти неразрывное целое.

Содержание книги в целом увязано с Техническими условиями¹ проектирования и возведения металлических конструкций и сооружений, изд. 1931 г., в части же сварки использован более поздний материал по пересмотру этих Условий к изданию 1932 г.

Книга предназначена как для учебных целей для студентов вузов, так и для повседневной работы в конструкторском бюро; с этой целью авторы достаточно подробно осветили вопросы детализации, а также снабдили книгу справочной частью с таблицами нормативного и расчетного характера.

Инж. А. С. Антоцову, давшему ряд ценных практических советов при создании настоящего труда, авторы выражают свою признательность.

Графики к гл. IV § 8 (технические показатели) выполнены под нашим руководством студентом ВИСУ П. С. Носовым.

В. Кандеев
Е. Котляр

Москва, июль 1932 г.

¹ В тексте сокращенно именуемые ТУ.

Глава первая

Общие сведения о резервуарах

Сосуды предназначенные для хранения жидкостей и газов, называются резервуарами. Основными элементами каждого резервуара являются: стенки, дно и крышка; помимо этого резервуары могут быть снабжены разными принадлежностями (приспособлениями для очистки и осмотра — лестницей люком, лазом) и арматурой (устройством для замера, налива и выпуска жидкости)

В соответствии с родом материала, из которого они изготовляются, различаются резервуары железные (стальные), железобетонные, бетонные и деревянные.

Настоящий труд ставит себе задачей изложение теории расчета и конструирование железных (стальных) резервуаров для хранения жидкостей.

§ 1. Классификация резервуаров

В зависимости от формы железные резервуары могут быть подразделены следующие основные группы:

1. Вертикальные цилиндрические резервуары, стенки которых расположены по поверхности кругового цилиндра с вертикальной осью.

2. Горизонтальные цилиндрические резервуары, стенки которых расположены по поверхности круглого или овального (эллиптического) цилиндра с горизонтальной осью.

3. Прямоугольные резервуары, имеющие прямоугольное поперечное сечение, стенки которых представляют собой плоскую поверхность. В плане эти резервуары имеют либо прямоугольную форму (собственно прямоугольные резервуары), либо форму замкнутых или незамкнутых многогранников.

Первая группа (вертикальные цилиндрические резервуары) служат для хранения нефтепродуктов, спирта, растительных масел и воды. В зависимости от конструкции дна эта группа может быть подразделена на следующие основные подгруппы:

а) вертикальные цилиндрические резервуары с плоскими днищами; резервуары эти устанавливаются либо непосредственно на земле (нефтяные резервуары и резервуары для растительных масел фиг. 140), либо на специальных основаниях (спиртовые резервуары, фиг. 309), либо на высоких опорах и башнях (резервуары для целей водоснабжения фиг. 247);

б) вертикальные цилиндрические резервуары с пространственными днищами: сферическими (фиг. 186), коническими (фиг. 207) и днищами Интце (фиг. 215, 222), представляющими собой сочетание различных поверхностей. Резервуары этой группы предназначаются, главным образом, для целей водоснабжения и устанавливаются на водонапорных башнях.

Крыши вертикальных цилиндрических резервуаров для нефтепродуктов, спирта и растительных масел устраиваются на деревянных или железных стропилах; тип крыши плоский с небольшим уклоном около $\frac{1}{20}$ радиуса (фиг. 102), конический — с уклоном $\frac{1}{3}$ радиуса (фиг. 112) или сферический (фиг. 119).

В водонапорных открытых башнях резервуары покрываются конической кровлей с уклоном $\frac{1}{4}$ радиуса (фиг. 229) или окружаются деревянным шатром (фиг. 247).

В закрытых (каменных) башнях резервуары собственного покрытия не имеют и покрытием является крыша самого водоемного сооружения (фиг. 182).

Вертикальные цилиндрические резервуары, как правило, сооружаются стационарного (не переносного) типа. Емкость этих резервуаров от 10 до 10 000 м³ и выше.

Вторая группа (горизонтальные цилиндрические резервуары) служит для хранения тех же продуктов — спирта, растительных масел и воды.

Эти резервуары по своей конструкции являются сосудами закрытого типа; крыши как таковой не существует, так как элементами резервуара являются цилиндрические стенки и два днища.

В зависимости от конструкции днищ горизонтальные резервуары подразделяются на следующие подгруппы:

а) горизонтальные цилиндрические резервуары с плоскими днищами; в этом случае внутри резервуара устраивается тяга, связывающая оба днища (фиг. 152);

б) горизонтальные цилиндрические резервуары со сферическими днищами без тяги (фиг. 159).

В зависимости от условий эксплуатации горизонтальные цилиндрические резервуары могут быть следующих типов:

а) стационарные (неподвижные), располагаемые на специальном фундаменте или подставке (фиг. 160);

б) резервуары-цистерны (передвижного типа на паровой или автомобильной тяге).

Горизонтальные резервуары изготовляются емкостью примерно до 60 м³ в пределах железнодорожного габарита с таким расчетом, чтобы они могли быть целиком собраны на заводе и отправлены в готовом виде по железной дороге.

Третья группа (прямоугольные резервуары) служит, главным образом, для хранения воды и других жидкостей для различных хозяйственных и промышленных целей (фиг. 292).

Устанавливаются эти резервуары либо непосредственно на земле, либо на специальных опорах.

Резервуары этого типа имеют плоское дно и сверху могут быть либо открытыми, либо снабжаться специальной крышкой. Объем этих резервуаров обычно невелик — примерно до 200 м³.

§ 2. Порядок составления проекта резервуара

Полный проект резервуара должен включать следующие элементы:

1. Эскиз резервуара со статическим расчетом последнего. Эскиз составляется в масштабе около $1/100$; расчет рекомендуется вести в четкой табличной форме.

2. Чертежи: а) общий вид резервуара (фасад и план) в масштабе $1/100$ — $1/200$ с нанесением на нем в схематическом виде всех принадлежностей и арматуры;

б) детальные рабочие чертежи всех элементов корпуса резервуара (стенок днища и настила крыши) и элементов, поддерживающих настил крыши (стропильных ферм и балок). Рабочие чертежи корпуса резервуара составляются обыкновенно в виде разверток с вынесенным эскизов отдельных листов и полным указанием всей разметки. Эти эскизы делаются в несколько искаженном виде (без масштаба) — для возможности нанесения всех детальных (разметочных) размеров. Чертежи стропильных ферм и балок перекрытия выполняются либо в масштабе $1/30$ с выносной эскизов всех деталей, либо в масштабе $1/10$ с нанесением всех детальных размеров;

в) рабочие чертежи принадлежностей и арматуры резервуаров вычерчиваются в масштабе $1/5$ — $1/10$.

3. Спецификация материала, состоящая из двух частей:

а) подсчет веса, включающий данные о количестве и весе всех материалов, теоретически потребных для постройки резервуара;

б) заказ на материалы — ведомости количества и веса всех материалов — практически необходимых для постройки резервуара (с запасом на отходы).

Глава вторая

Материал стальных резервуаров

§ 1. Прочность и допускаемые напряжения. Сортамент

Для постройки резервуаров, как и для металлических конструкций вообще, применяется сталь (железо), полученная по способу Сименса-Мартена. При этом допускается применение как СтЗ, так и пониженных сортов стали — СтЗ_{пониж.} и Ст2_{пониж.} При отсутствии материала, снабженного заводским сертификатом, разрешается принимать немаркированное (торговое) железо, приравняемое по допускаемым напряжениям к СтЗ_{пониж.} и Ст2_{пониж.}, при условии отсутствия наружных дефектов и удовлетворении испытанию на холодный загиб.

Механические свойства и допускаемые напряжения разных сортов стали (железа) подробно изложены в Единых нормах строительного проектирования (серия XIV, № 6, изд. 1931 г.) и в краткой форме сведены в следующей таблице:

Материал	Механические свойства		Допускаемые напряжения кг/см^2	
	Временное сопротивление в кг/см^2	Удлинение в %	при действии основных нагрузок	при совместном действии основных и случайных нагрузок
СтЗ	3800—4500	22	1400	1700
СтЗ _{пониж.}	3800—4500	18	1200	1450
Ст2 _{пониж.}	3400—4200	20	1200	1450
Немаркиров. железо	—	—	1200	1450

В нашей строительной практике, почти как правило, для целей резервуаростроения применяются пониженные сорта стали — СтЗ_{пониж.}, Ст2_{пониж.}.

Сталь, служащая для изготовления металлических конструкций, формируется помощью прокатки в раскаленном виде. Прокатная сталь разделяется на листовую и фасонную (уголки, швеллера, двутавры и т. д.).

Листовая сталь является основным материалом для постройки резервуаров; наиболее употребительные размеры листов (согласно ОСТ 500) следующие:

при толщине 2— 3 мм	нормальный размер листов	1400 × 2800 мм
» » 4— 5 »	» » »	1400 × 4200 »
» » 6—18 »	» » »	1500 × 6000 »

В приложениях № 2—6 приведены общесоюзные стандарты листовой стали (ОСТ 500) и основного сортамента фасонной стали (угловое железо — ОСТ 14, 15, двутавровое железо — ОСТ 16, швеллерное железо — ОСТ 17).

§ 2. Обработка стальных частей на заводе

Остановимся лишь вкратце на всех производственных процессах, связанных с постройкой резервуаров, подробное описание которых можно найти в специальных трудах¹.

Операции эти следующие:

1. Правка железа — выпрямление железа, полученного со склада в более или менее искривленном виде вследствие повреждения на транспорте или недостатков проката.

Правка производится обыкновенно в холодном виде либо вручную, либо на особых станках — правильных вальцах.

2. Разметка — нанесение на материал разметочных размеров, т. е. размеров, обусловленных рабочими чертежами.

Разметка может производиться:

а) или по камеральному (кабинетному) способу, при котором в техническом бюро составляются эскизы отдельных деталей со всеми необходимыми размерами;

б) или графическим методом (разметка на плацу), при котором разметчик вычерчивает изделие в натуральную величину, переносит затем размеры на отдельные листы.

Первый (камеральный) способ разметки, применяемый в котельном и резервуарном деле, в большей мере гарантирует точность и безошибочность разметки, не требуя вместе с тем высокой квалификации разметчиков.

Изготовленная образцовая деталь (так называемый шаблон) служит в дальнейшем для изготовления аналогичных ей деталей. Последующее перенесение разметочных размеров с шаблона на железо называется наметкой.

3. Изготовление отверстий для заклепок (отпадающее при оварке) производится путем: а) пробивки (продавливания, прокола), б) сверления.

При пробивке дыр металлический цилиндр, вместо которого образуется отверстие, сразу отделяется от остальной массы металла. При сверлении же этот цилиндр удаляется постепенно в виде тонкой стружки, снимаемой с обрабатываемой поверхности металла режущими кромками сверла. Пробивка производится либо вручную (на медведках или рычажных прессах) либо машинным способом на приводных прессах.

Сверление отверстий вручную производится трещотками и электрическими и пневматическими сверлилками; машинное сверление выполняется на приводных сверлильных станках.

Существует еще комбинированный способ изготовления отверстий, широко применяемый в СССР и в Америке: сперва пробивают дыры диаметром на 2—3 мм меньше проектного, затем склепываемые части собираются на болтах и рассверливаются до требуемого диаметра; при

¹ К. Г. Грейнер, Котельное дело, Госиздат, 1929.

этом пользуются либо переносной разверткой, либо собранные части подводятся под сверлильный станок. В соответствии с требованиями наших ТУ при пробивке дыр для последующей рассверловки диаметр пробиваемых дыр должен быть менее проектного на 3 мм для дыр 17 мм и выше, и на 2 мм для меньших дыр.

Изготовление отверстий путем пробивки обходится в два-три раза дешевле сверления и получило поэтому у нас и в Америке весьма широкое распространение. Необходимо, однако, отметить при этом следующие недостатки:

а) при пробивке отверстий материал делается хрупким и по краям дыр появляются волосные трещины; поэтому заклепочные соединения с пробитыми дырами оказывают меньшее сопротивление, чем соединения со сверленными дырами;

б) при пробивке дыр последние всегда имеют коническую форму вследствие разницы между диаметром штемпеля и матрицы, что при накладе листов (один на другой) ведет к плохому совпадению отверстий; последнее влечет за собой искривление стержня заклепки и неблагоприятные условия работы последней. Это обстоятельство служит причиной понижения допускаемых напряжений в заклепочных соединениях с пробитыми отверстиями против тех же соединений со сверленными или рассверливаемыми отверстиями (глава IV, § 4).

4. Обработка кромок—обрезка, обрубка и строжка. Обрезка листового и фасонного железа производится либо ножницами (ручными или приводными), либо автогеном (горелки для водороднокислородного или ацетиленокислородного пламени). Резка пилами много дороже и применяется для крупных фасонных сечений (швеллеров и двутавров) в тех случаях, где требуется точная обработка.

Подготовка кромок листов к чеканке (глава III, § 3) производится преимущественно обрубкой зубилом (ручным или пневматическим), реже—автогенным способом; самым современным, но наиболее дорогим способом является строжка на строгальных станках.

5. Изгибание железа может быть как в продольном, так и в поперечном направлении (отгибание бортов, высадка, маловка угольников и пр.).

Первый вид работ производится преимущественно в холодном виде—для листового железа на так называемых загибных вальцах, для фасонного железа либо вручную, либо на рихтовальных (правильных) станках.

Изгибание железа в поперечном направлении производится всегда в горячем виде.

Изложенные выше операции, связанные с непосредственной обработкой железа в мастерских, объединяются под общим наименованием заготовки.

6. Сборка металлических конструкций состоит в том, что отдельные их части пригоняются друг к другу и затем временно соединяются сборочными болтами. Различают два вида сборки:

а) пробная сборка на заводе для проверки правильности заготовки шаблонов; применяется для наиболее сложных частей конструкции;

б) сборка на месте установки совместно с монтажом.

Последней операцией в производстве металлоконструкций является окончательное соединение металлических частей клепкой или сваркой (гл. III).

Все металлические части до клепки и сварки должны быть тщательно очищены от ржавчины и грязи; конструкции, готовые к отправке на место установки, загрунтовываются на олифе.

Глава третья

Заклепочные и сварные соединения

Скрепление металлических частей в резервуарах производится в основном путем:

а) заклепочных соединений — наиболее старый и с производственной и теоретической стороны наиболее изученный способ;

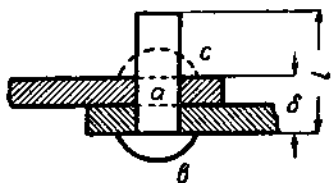
б) сварных соединений — способ, открытый еще в конце прошлого столетия, но получивший широкое распространение лишь за последнее десятилетие и, вследствие своих громадных преимуществ, энергично вытесняющий клепку.

Заклепочные соединения

§ 1. Общие сведения о заклепках

Для соединения металлических частей между собой в отверстие, проходящее через соединяемые детали, вставляют цилиндрический стержень с головкой, называемый заклепкой, и затем осаживанием и обработкой молотком образуют вторую головку (фиг. 1); отверстие изготавливается по одному из способов, изложенных в предыдущей главе.

Цилиндрическая часть заклепки *a* называется стержнем, начальная головка *b* называется «природной» или «закладной», головка же *c*, образуемая в результате клепки, называется «замыкающей».



Фиг. 1

Заклепки изготавливаются специальными прессами путем штамповки в горячем состоянии круглого железа соответствующего диаметра.

В стальных конструкциях для заклепок, как правило, применяется мягкое литое железо марки Ст2; в исключительных случаях, главным образом в мостах из специальной стали, заклепки изготавливаются из того же материала, что и склепываемые элементы. Применение же для заклепок сварочного железа в настоящее время не допускается.

Материал заклепок должен удовлетворять ТУ НКПС (прил. 7).

Заклепочные соединения иногда заменяются болтами, если общая толщина склепываемых частей превышает пять диаметров заклепки, если встречаются затруднения при клепке или если желательна некоторая подвижность в соединяемых частях.

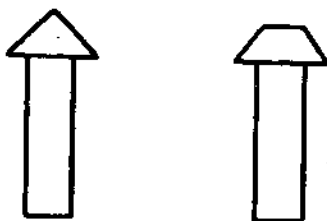
§ 2. Форма, размеры и вес заклепок

По форме заклепочных головок различают:

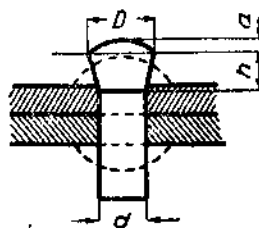
- 1) заклепки с полукруглой головкой (прил. 8, 9 — ОСТ 184, 301),
- 2) заклепки с потайной головкой (прил. 10, 11 — ОСТ 185, 302),
- 3) заклепки с полупотайной головкой (прил. 12 — ОСТ 303).

В американской резервуарной практике широкое применение имеют заклепки с конической головкой — полной или усеченной формы (фиг. 2), дающие особо высокую плотность швов.

В Германии применяется еще один специальный тип заклепок — так называемые заклепки Шуца (фиг. 3), у которых обе головки образуются

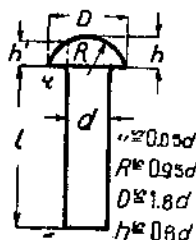


Фиг. 2

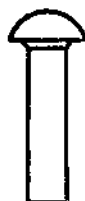


Фиг. 3

в процессе клепки. Преимущества этих заклепок заключаются в том, что вследствие давления на стержень с обеих сторон они лучше заполняют отверстия и могут быть применены при большой толщине склепываемых частей; помимо того благодаря конусности головки эти заклепки превосходно центрируются в дыре, давая очень плотный шов, не требующий чеканки.



Фиг. 4



Фиг. 5

Основным типом заклепки, применяющимся у нас в железных конструкциях и, в частности, в резервуарах, являются заклепки с полукруглыми головками; заклепки с потайной головкой находят применение в редких случаях — когда требуется сохранение гладкой поверхности; заклепки с полупотайной головкой ста-

вятся в исключительных случаях при значительной (свыше 4,5 диаметров) толщине склепываемых частей. Заклепок с потайной и полупотайной головкой следует избегать ввиду связанной с ними кропотливой и дорогой работы — раззенковки дыр (высверливания конических отверстий) для головок.

Полукруглая головка имеет форму шарового сегмента с переходом к стержню заклепки в виде небольшого закругления (фиг. 4). Прежде сопряжение головки со стержнем осуществлялось с помощью специального переходного конуса (фиг. 5). Опыты, произведенные в 1909 г. Обществом германских мостостроительных заводов, показали, что переходные конуса не дали никакого ощутительного повышения сопротивления заклепки; полученное повышение сопротивления на 2%, не могло окупить стоимость раззенковки заклепочных отверстий, необходимых для конуса.

Соотношение между размерами головки и диаметром заклепки представлено на фиг. 4.

Размеры диаметра головки D и ее высоты h обусловлены следующими теоретическими соображениями:

1. Сопротивление на смятие площади соприкосновения головки с листом должно быть не менее сопротивления стержня заклепки разрыву, т. е.:

$$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} R_{см} > \frac{\pi d^2}{4} R_{разм}.$$

Принимая $R_{см} = 2R_{разм}$, получим:

$$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot 2 > \frac{\pi d^2}{4},$$

$$D > 1,22 d.$$

Практически принимают $D = 1,8 d$.

2. Сопротивление выкалыванию заклепочной головки по цилиндрической поверхности высотой h' и диаметром d должно быть не менее сопротивления заклепочного стержня разрыву.

$$\pi d h' R_{смят} > \frac{\pi d^2}{4} R_{разм}.$$

Принимая $R_{смят} = 0,8 R_{разм}$, получим:

$$0,8 \pi d h' = \frac{\pi d^2}{4},$$

$$h' > 0,32 d.$$

При принятом соотношении: $D = 1,8 d$ и $R = 0,95 d$, $h = 1,3 h'$ получим $h > 0,42 d$.

Практически принимают $h = 0,6 d$.

В резервуаростроении обычно применяются заклепки следующих диаметров:

$$d = 8, 9,5, 11,5, 13,5, 16,5, 19, 22 \text{ мм.}$$

Им соответствуют следующие диаметры отверстий:

$$d_0 = 8,5, 10, 12, 14, 17, 20, 23 \text{ мм.}$$

Условные обозначения заклепок на чертежах, принятые нашими ТУ по проектированию металлических конструкций, приведены в прил. 13.

Полная длина (фиг. 4) непоставленной заклепки определяется по следующей теоретической формуле:

$$l = \delta + \alpha d + \beta d,$$

где δ — толщина склепываемых частей,

d — диаметр заклепки,

α — коэффициент усадки, возникающий вследствие разности диаметра заклепки и диаметра отверстия ($\alpha < 1$),

β — коэффициент, принимаемый для образования головки ($\beta > 1$).

В применении к ОСТ 184 и 301 значения α и β для заклепок разных диаметров следующие:

Диаметр заклепок в мм	8	9,5	11,5	13,5	16,5	19	22
α	0,129	0,108	0,089	0,075	0,061	0,108	0,092
β	1,15	1,23	1,40	1,25	1,08	1,18	1,16

Практически можно принять: $\alpha \approx 0,12$; $\beta \approx 1,4$.

Тогда формула для определения длины заклепок принимает следующий вид:

$$l = 1,12 \delta + 1,4 d.$$

Для определения длины заклепок в разных предприятиях существуют разные таблицы и графики; в наших ТУ по проектированию металлических конструкций вопрос этот не нормирован. В прил. 14 приведена таблица для заклепок, составленная применительно к ОСТ 184 и 301 по формуле: $l = 1,12 \delta + 1,4 d$.

При составлении спецификации заклепок теоретически потребное количество заклепок увеличивается от 5 до 15% (в зависимости от диаметров) на угар и потерю. Принятые в практике нормы увеличения приведены в прил. 14.

Вес заклепок может быть рассчитан по таблице прил. 15, составленной применительно к ОСТ 184 и 301.

Вес 1000 заклепочных головок ориентировочно равен $7 d^3$ кг, где d — диаметр заклепки в см. Точный вес заклепочных головок может быть определен по следующей таблице:

Диаметр заклепок в мм	8	9,5	11,5	13,5	16,5	19	22
Вес 1000 головок в кг	3,6	6,2	13,0	19,0	30,0	49,9	76,9

§ 3. Процесс клепки. Качество и приемка заклепок. Чеканка. Оттяжка ласок

Для того чтобы ясно представить себе самую природу клепки, следует внимательно изучить одно интересное явление, происходящее в стержне заклепки при этом процессе, а именно: растягивающие напряжения, которым подвергается стержень заклепки.

После образования замыкающих головок последние сжимают склепанные листы с некоторой силой P , реакция этой силы на головки заклепок вызывает в стержнях растягивающее напряжение. Приведем теоретические и опытные соображения для определения величины этих напряжений¹.

Обозначения:

P — сила, прижимающая листы друг к другу после клепки, равная силе, растягивающей стержень заклепки;

¹ См. М. П. Берднов, Детали машин, вып. III, Гостехиздат, 1928, стр. 20.

σ — растягивающее напряжение стержня заклепки под действием силы P ,

d — диаметр заклепки,

l — длина стержня заклепки между головками в склепанных листах,

λ — измеренное сжатие этой длины после расклепки листов,

E — модуль упругости заклепочного железа.

Очевидно:

$$P = \sigma \frac{\pi d^2}{4}; \lambda = \frac{\sigma l}{E}$$

Д Е П

или

$$\sigma = \frac{\lambda E}{l}; P = \frac{\lambda E \pi d^2}{l} \cdot \frac{1}{4}.$$

Опыты, произведенные Бахом и Бауманом в 1912 г. («Zeitschr. d. VDI», стр. 890, 1912) с заклепкой $d=28$ мм, выдержанной под штампом гидравлической клепки в течение 5 мин. при диаметре отверстия заклепки в 29 мм, после расклепки показали диаметр заклепки 29,8 мм; измеренная толщина склепываемых частей была 4,05 см; после расклепки заклепка укоротилась на 0,00423 см (считая между головками). Подставляя в последнее выражение для P :

$$\lambda = 0,00423 \text{ см}; l = 4,05 \text{ см}; d = 2,93 \text{ см}; E = 2\,100\,000 \text{ кг/см}^2,$$

Бах и Бауман получили:

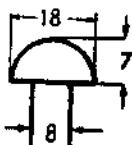
$$P = \frac{0,00423 \cdot 2\,100\,000 \cdot 2,93^2 \pi}{4 \cdot 4,05} = 14\,800 \text{ кг.}$$

$$\sigma = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{14\,800}{\frac{\pi \cdot 2,93^2}{4}} = 2193 \text{ кг/см}^2.$$

Полученное в материале заклепок растягивающее напряжение нужно признать весьма высоким и опасным только потому, что, с одной стороны, процесс клепки ведет к улучшению материала заклепочных соединений (опыты Руделова и Фремона), а с другой, — напряжения практически получаются несколько меньше вследствие упругости склепываемых листов.

Получающееся от сжатия заклепок трение между листами тем значительнее, чем больше листы прижимаются друг к другу. Трение листов является значительным фактором в деле повышения плотности (и частично прочности) швов. В этом отношении горячая клепка (при нагреве заклепок до светлого закаливания) имеет большие преимущества перед холодной клепкой (без предварительного нагрева заклепок), увеличивая плотность шва.

Поэтому в резервуаростроении холодная клепка применяется весьма редко и допускается для заклепочного диаметром в 8 мм в листах крыши толщиной 2,5 мм. Но и в этом случае рекомендуется применять заклепки с высокими головками, обеспечивающими прижим листов к плотной поверхности (рис. 6). Такого рода заклепки реко-



мендованы ТУ для клепки тонких листов газгольдеров и имеют широкое применение в германской резервуарной практике. Заклепки этого типа вклепаны «под молоток» без применения обжимки.

В практике американского резервуаростроения холодная клепка имеет более широкое применение: последняя допускается для всех заклепок диаметром до $\frac{5}{8}$ (16,5 мм), исключая днища.

На подробном описании производственного процесса клепки и всех приспособлений и машин (станков), связанных с нею, мы не останавливаемся, отсылая интересующихся этим вопросом к специальной литературе¹. Укажем лишь на наиболее существенные моменты, необходимые для конструктора.

Производство клепки в мостовом и резервуарно-котельном деле бывает ручное и машинное.

Ручную клепку можно строго разграничить на два процесса: первый — осаживание выступающего стержня заклепки в дыру и предварительная расклепка посредством молотков; второй — окончательная формовка головки обжимкой под ударом кувалды. Ручная клепка на пневматических молотках больше приближается к обыкновенной ручной клепке.

Машинная клепка производится пневматическими клепальными машинами (так называемыми скобами) переносного типа и гидравлическими клепальными машинами стационарного и переносного типа. Существуют еще электрические клепальные машины переносного типа, не получившие, однако, в практике большого применения.

Отмеченное разграничение ручной клепки на два процесса при машинной клепке не имеет места: в этом случае под большим давлением происходит одновременно осаживание стержня и формовка головки.

Преимущества машинной клепки перед ручной следующие:

- 1) удешевление и ускорение работы (примерно в 3 раза),
- 2) более плотное заполнение отверстий,
- 3) отсутствие повреждений листа острой кромкой обжимки,
- 4) независимость качества работы от индивидуальных свойств рабочего,
- 5) склепывание больших толщин при больших диаметрах заклепок.

Основные условия для получения хорошей клепки следующие:

- 1) правильность формы природных головок,
- 2) равномерность нагрева заклепки по всей длине,
- 3) посадка заклепок не под ряд, а в промежутках между сборочными болтами,
- 4) освобождение от окалины заклепки до постановки на место.

При применении ручной клепки для заклепок диаметром свыше 19,5 мм клепка должна производиться настолько быстро, чтобы по окончании всей операции головка была еще вишнево-красного цвета. При машинной клепке после образования головки заклепка должна выдерживаться под давлением около 15 сек.

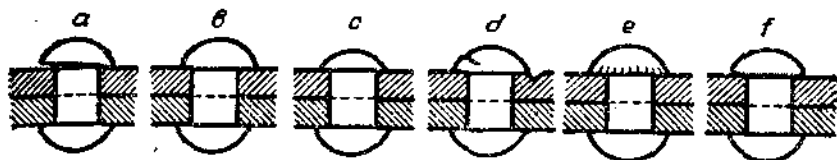
Приемка заклепок производится путем остукивания легким молотком по головке; при этом неплотные заклепки издадут дребезжащий звук, и палец, приложенный к обратной головке, ощущает сотрясения. По наружному осмотру заклепки могут обладать следующими дефектами:

- 1) неплотность заклепки (фиг. 7, а),

¹ К. Грейнер, Котельное дело, т. I, Госиздат, 1929.

- 2) сбитые головки (фиг. 7, б),
- 3) маломерные головки (фиг. 7, в),
- 4) зарубки головки или металла у краев головки (фиг. 7, д),
- 5) рваные края головки (фиг. 7, е),
- 6) недостаточное обжатие головки (фиг. 7, ф).

Забракованные заклепки должны быть срублены и заменены новыми. При машинной клепке брак обыкновенно незначителен, при ручной клепке (даже при наличии опытных рабочих) он доходит до 5⁰/₀.



Фиг. 7

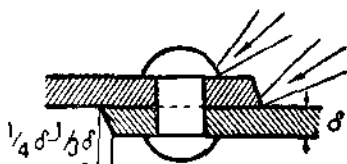
Данные о производительности ручной и машинной клепки — см. специальные труды¹.

Резервуарные швы должны быть непроницаемыми для жидкости, т. е. плотными; операция уплотнения швов называется чеканкой.

Чеканка состоит в осаживании кромок листов, вследствие чего получается плотное нажатие листа или накладки на другой лист и заполнение щели между листами.

Кромки листов, подвергающиеся чеканке, должны быть специально подготовлены путем строжки или рубки; подготовка состоит в скосе кромок, примерно, на 75° или приблизительно на $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ толщины листа (фиг. 8).

Орудие чеканки состоит из тупого зубила (фиг. 8), по которому наносятся удары ручным молотком при ручной клепке; при пневматической клепке зубила вставляются в пневматический молоток.



Фиг. 8

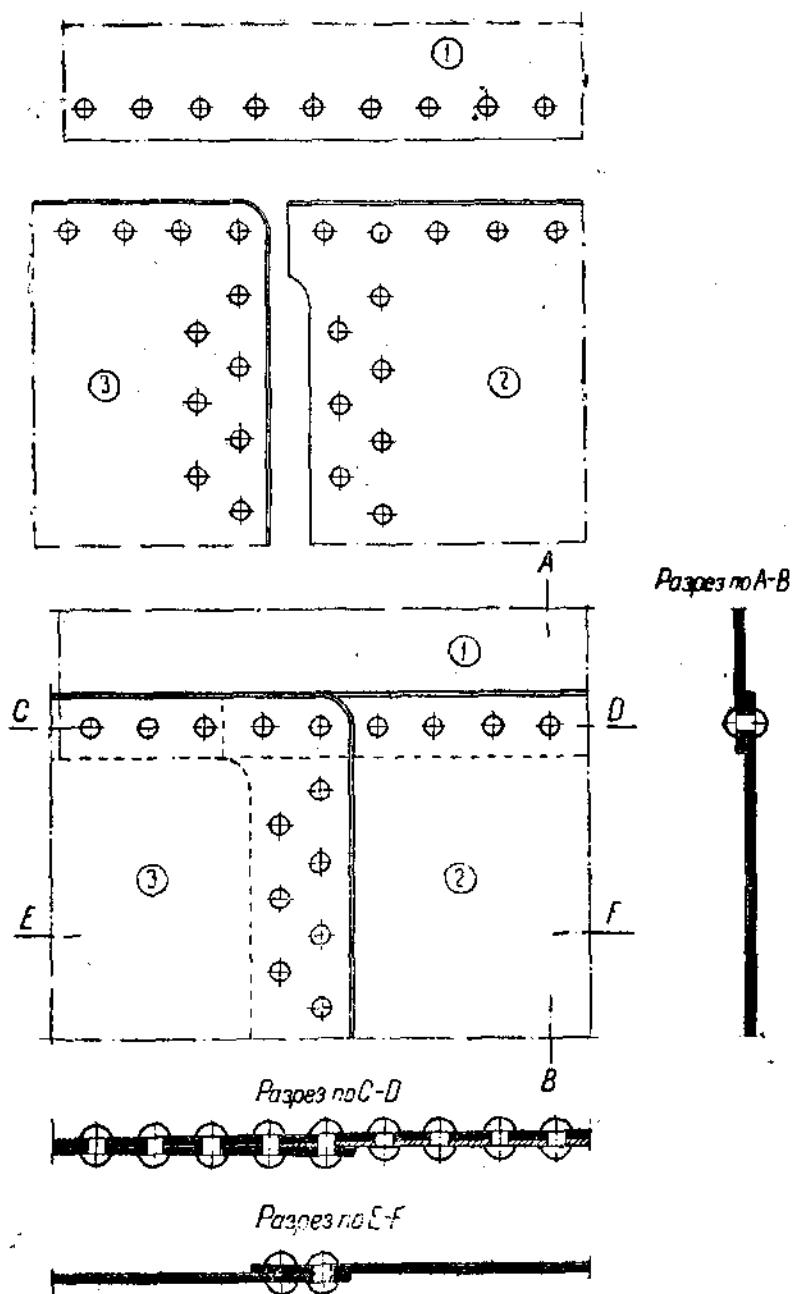
Чеканке поддаются листы толщиной не менее 4 мм; при более тонких листах (2—3 мм) плотность шва достигается прокладкой между листами льняной ленты шириной 30—35 мм, пропитанной свинцовым суриком (гл. III, § 7).

При проектировании швов, подвергающиеся чеканке, следует располагать таким образом, чтобы чеканка производилась сверху вниз или справа налево; отступление от этого правила может иметь место при наличии особых конструктивных соображений.

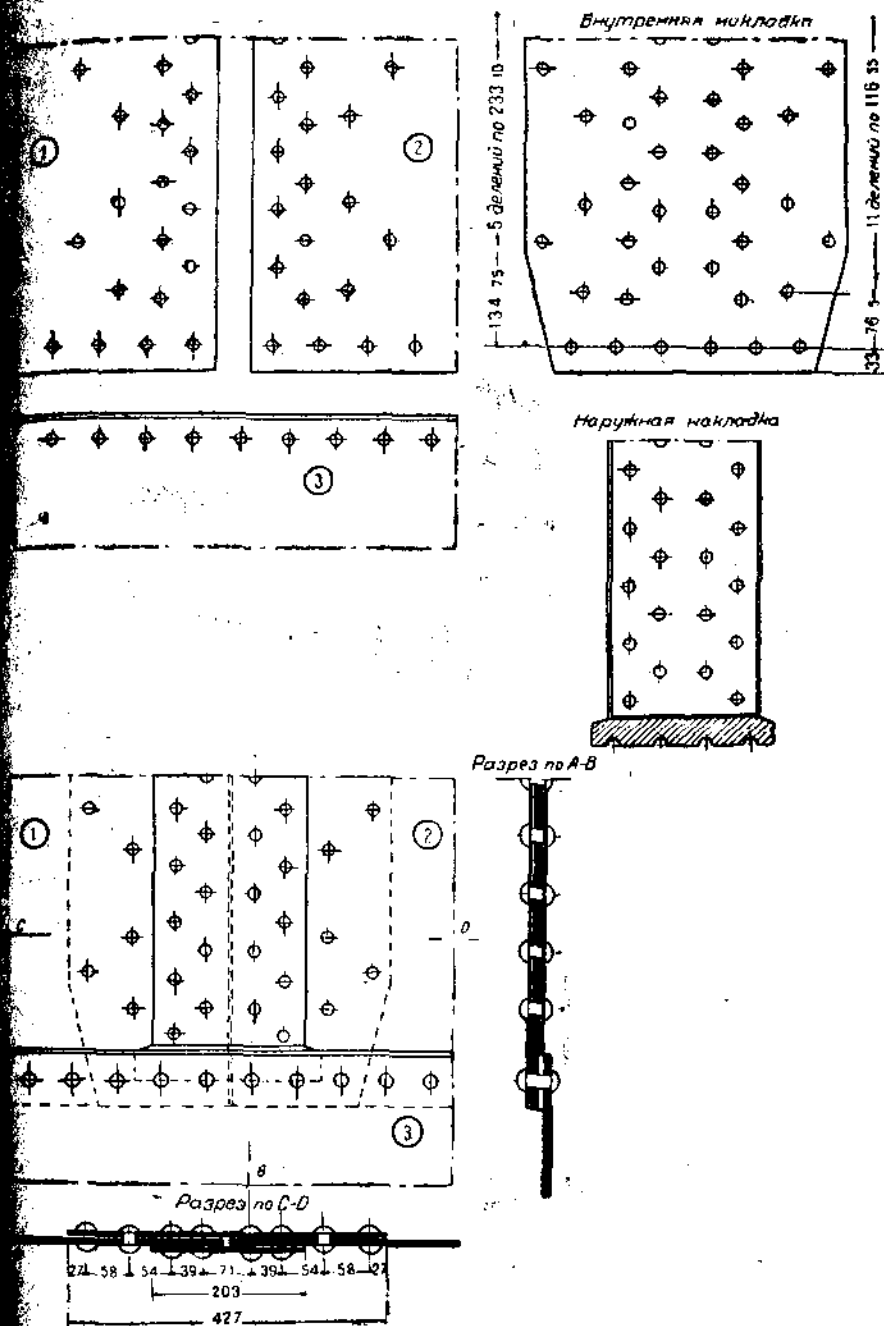
В резервуарах подчеканке подвергаются также головки заклепок. В стальных же конструкциях с прочными (а не плотными) швами подчеканка головок не разрешается, ибо в этом случае она является маслывровой дефективностью заклепок — неплотности прилеганий головок (фиг. 7, а).

Чеканка кромок и заклепочных головок в резервуарах, как правило, производится только с наружной стороны; в особо ответственных случаях может иметь место двухсторонняя чеканка (с наружной и внутренней стороны).

¹ К. Грейнер, Котельное дело, стр. 345, Госиздат, 1929. И. П. Прокофьев, Обработка, сборка и установка металлических мостов, стр. 62—63, ГНТИ, 1931.



Фиг. 9



Фиг. 10

Операция чеканки представляет собой чрезвычайно кропотливую работу, требующую очень опытных рабочих, ибо неправильная работа может нанести существенный вред изделию, выражающийся либо в произвольном уменьшении кромок, либо в образовании вдоль швов и вокруг заклепочных головок зарубов.

Нормы и расценки на чеканку — см. специальные труды¹.

В заключение укажем еще на одну производственную операцию, необходимую для достижения плотности резервуарных швов.

В месте сопряжения трех листов, стыкуемых внахлестку, средний (зажатый) лист для обеспечения плотности и тщательной пригонки листов должен быть оттянут. На фиг. 9 изображено пересечение горизонтального и вертикального швов внахлестку для двух смежных поясов вертикального цилиндрического резервуара. В среднем листе № 2 оттягивается угол, заходящий своим клином между листами № 1 и 3, причем листы № 1 и 3 немного отгибаются (см. разрез *C—D*). Эта оттяжка угла, называемая в производстве «оттяжкой ласок», производится в нагретом состоянии при вишнево-красном калении. На фиг. 10 изображено сопряжение вертикального шва впритык с горизонтальным швом внахлестку в вертикальном цилиндрическом резервуаре. Наружная накладка, подвергающаяся чеканке, оттягивается, заходя клином в плоскость соприкосновения листов № 1 и 2 с листом № 3.

§ 4. Типы заклепочных соединений. Расчет заклепочных соединений. Расчетные нормы

Заклепочные соединения сообразно своему назначению могут быть подразделены на три основных группы:

Прочные соединения, назначение которых состоит в передаче усилий между соединяемыми элементами.

Прочно-плотные соединения, назначение коих помимо передачи усилий состоит в создании плотности в соединяемом ими сопряжении двух конструктивных элементов.

Плотные соединения, имеющие целью создание плотности в сопряжении; заклепки в этих соединениях вовсе не напряжены или напряжены весьма незначительно.

В котельно-резервуарном деле заклепочные соединения принято называть швами, разумея под последними соединением двух кромок листов для образования из них одной поверхности. В резервуарном деле швы относятся преимущественно ко второй и третьей из перечисленных групп (прочно-плотные и плотные швы); первая группа — прочных соединений в резервуарах имеет место в элементах чисто строительного характера (стропильные фермы, лестницы и пр.).

Под действием внешней продольной силы края дыр упираются в заклепки, передавая им усилия, стремясь срезать заклепки в плоскости соприкосновения листов; это явление называется срезыванием заклепок (фиг. 11). При этом стержни заклепок и края отверстий испытывают



Фиг. 11

¹ К. Грейнер, Котельное дело, стр. 349, Госиздат, 1929.

местные сжимающие напряжения; последнее явление называется смятием стенок материала (фиг. 12) ¹.

Смотря по устройству сопряжения элементов, в зависимости от того, сколько поперечных сечений заделки сопротивляется внешним силам, заделки могут быть односрезными (фиг. 11) и двухсрезными (фиг. 13).

Сопротивление односрезной заделки срезыванию и смятию выражается следующими формулами:

$$S_{ср} = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot k_{ср},$$

$$S_{см} = d \cdot \delta \cdot k_{см}.$$

Аналогично для двухсрезных заделок:

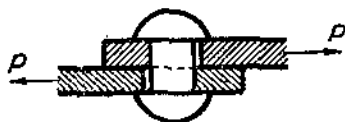
$$S_{ср} = \frac{2\pi d_0^2}{4} \cdot k_{ср},$$

$$S_{см} = d \cdot \delta \cdot k_{см}.$$

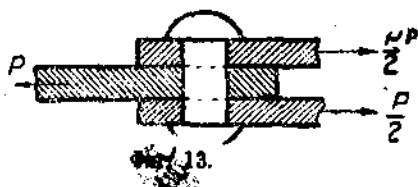
Обозначения:

$S_{ср}$ — сопротивление заделки (одиночному или двойному) срезыванию в кг;

$S_{см}$ — сопротивление заделки смятию в кг;



Фиг. 12.



Фиг. 13.

d_0 — диаметр отверстия заделки в см;

δ — наименьшая толщина склепываемых листов при односрезных заделках и толщина среднего (зажатого) листа при двухсрезных заделках в см;

$k_{ср}$ — допускаемые напряжения заделок на срезывания в кг/см²;

$k_{см}$ — допускаемое напряжение материала на смятие в кг/см².

Согласно Единых норм строительного проектирования 1931 г. (серия XIV, № 6) допускаемые напряжения для заделок установлены в зависимости от типов швов (прочных или прочно-плотных), причем для плотных швов приняты пониженные нормы. Кроме того в пределах каждой группы установлены особые напряжения в зависимости от способа изготовления заделочных отверстий: при пробивке отверстий с последующей рассверловкой или при сверловке отверстий (подгруппа В) принимаются более высокие допускаемые напряжения, чем при пробивке отверстий без последующей рассверловки (подгруппа С). (См. соображения по этому поводу в гл. II, § 3).

¹ Расчет заделок на сопротивление скольжению (Б.х., Детали машин, т. I) в настоящее время не применяется.

В нижеследующей таблице изложены допускаемые напряжения заклепок согласно Единых норм:

Род напряжения	Н а п р я ж е н и я в кг/см ²			
	Прочные швы (строительные конструкции)		Прочно-плотные швы (резервуары, газгольдеры)	
	Действие основных нагрузок	Совместное дей- ствие основных и случайных нагрузок	Действие основных нагрузок	Совместное дей- ствие основных и случайных нагрузок
Срезывание				
В	1100	1360	1000	1200
С	950	1180	840	1000
Смятие				
В	2800 (2400)	3400 (2900)	2400 (2040)	2900 (2460)
С	2400 (2040)	2900 (2460)	2100 (1800)	2550 (2180)
Отрыв (В и С) ¹ . . .	840	1020	560	680

Примечания: 1. Таблица дает допускаемые напряжения заклепок на срезывание и смятие в случае изготовления конструкций из железа марки Ст3; в случае применения немаркированного (торгового) железа или одного из суррогатных материалов Ст2ном, Ст3ном для смятия берутся цифры, взятые в скобки. 2. Согласно ТУ для стержней, работающих на регулярную вибрационную нагрузку (прочные швы в строительных конструкциях), вызывающих перемену знака усилия, число заклепок увеличивается на 25% против нормального расчета. Для знакопеременных элементов число заклепок увеличивается на коэффициент

$$k = \left(1 + \frac{1}{4} \cdot \frac{N_{\min}}{N_{\max}}\right),$$

где $N_{\min}$ и $N_{\max}$ — абсолютные значения наименьших и наибольших усилий моментов или поперечных сил.

§ 5. Прочные швы

На деталях расчета и конструкций прочных швов, присущих чисто строительным конструкциям (строительные фермы, листницы, металлические опоры), встречающимся при проектировании резервуаров, мы не останавливаемся, поскольку все это изложено в специальных курсах металлических конструкций¹.

Основные правила расчета и конструирования металлических конструкций нормированы в главе IV ТУ, изд. 1931 г. В приложении 16 приведены данные из ТУ, дающие основные конструктивные указания для размещения заклепок в прочных швах.

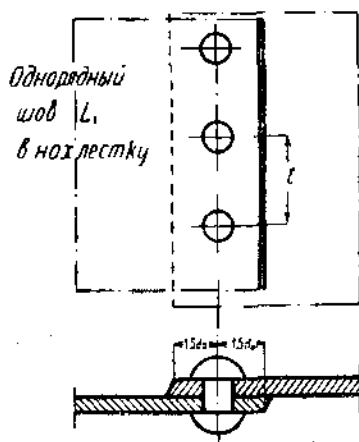
¹ Работы заклепок на отрыв головок (растягивающей силой вдоль стержня заклепки) следует избегать; в таких случаях заклепки рекомендуется заменять болтами.

² А. Грегор, Железные конструкции, т. I, ГНТИ, 1930; К. Керстен, Железные конструкции гражданских сооружений, ГНТИ, 1931.

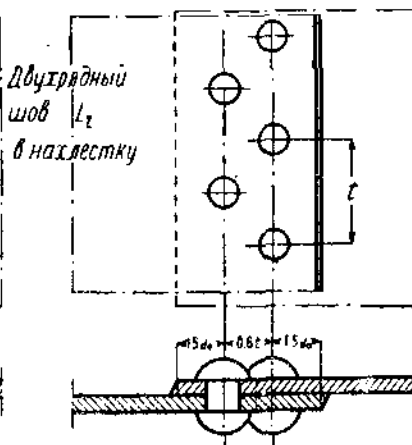
§ 6. Теория прочно-плотных швов

Прочно-плотные швы могут быть подразделены на две основные группы:

1. Швы внахлестку, когда край одного листа накладывается на край другого, причем плоскость, проходящая по линиям центров тяжести



Фиг. 14

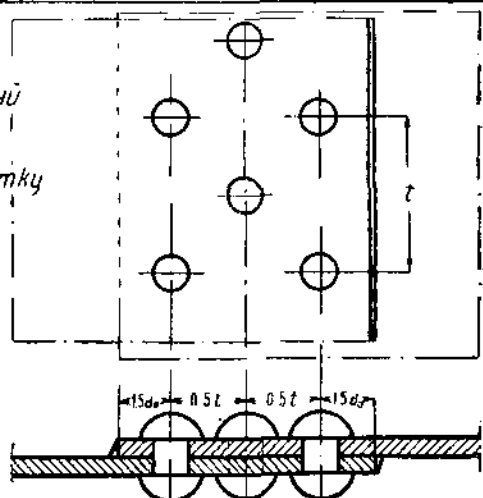


Фиг. 15

листов параллельно их поверхности, отходит от плоскости стыка в ту и другую сторону на половину их толщины. В зависимости от количества рядов заклепок швы внахлестку могут быть одно- (фиг. 14), двух- (фиг. 15), и трехрядными (фиг. 16). Однорядные швы в резервуарах применяются только в плотных соединениях (см. ниже.)

2. Швы впритык, где стыкуемые листы примыкают друг к другу торцами и плоскости листов совпадают с плоскостью стыка; последний перекрывается с обеих сторон накладками. Швы впритык могут быть двух- (фиг. 17), трех- (фиг. 18), четырех- (фиг. 19) и пятирядными (фиг. 20).

Трехрядный шов L_3 внахлестку



Фиг. 16

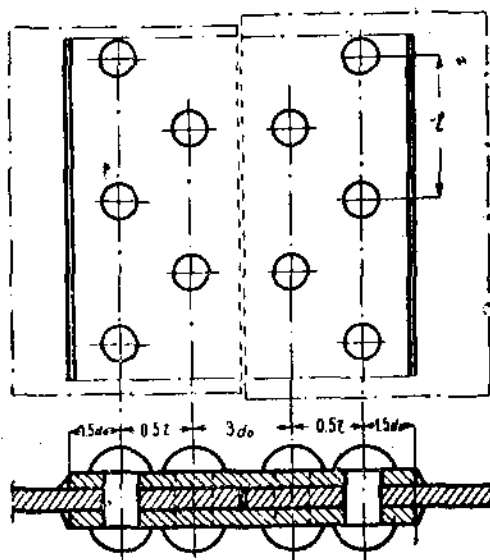
Перед тем как перейти к детальному описанию отдельных типов швов, приведем общие их свойства, присущие швам как первой, так и второй группы.

а) Зависимость между диаметром заклепки и толщину

ной листов, принятая в нашей и германской практике и нормированная нашими ТУ, выражается следующей формулой:

$$d = \sqrt{5\delta} - a,$$

Двухрядный
шов B_2
в притык



Фиг. 17

где d — диаметр заклепки в см,
 δ — толщина листа в см,
 a — постоянная величина, имеющая следующие значения:

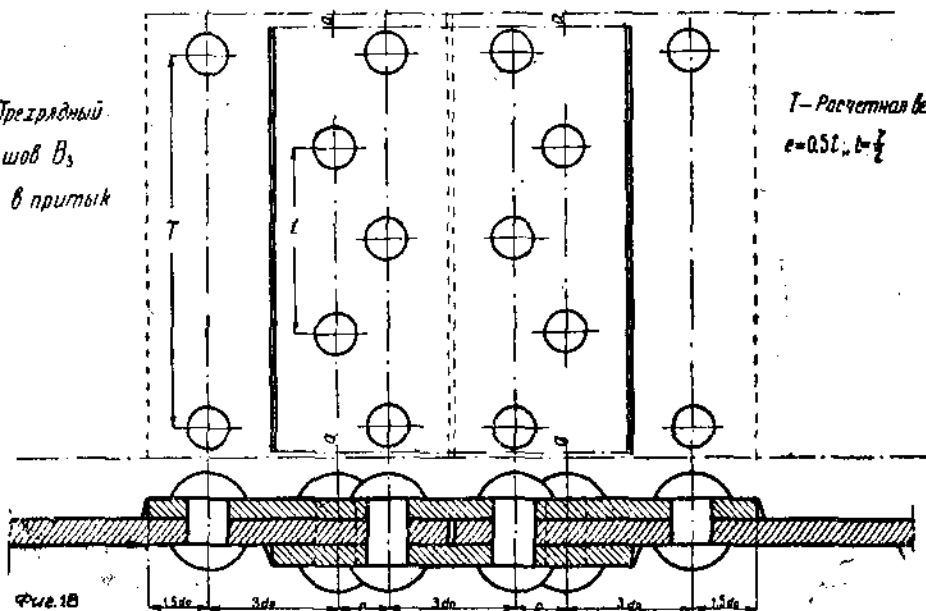
для швов внахлестку $a \approx 0,4$ см,
для швов впритык $a \approx 0,6$ см.

Полученный по последней формуле теоретический диаметр заклепки округляется до ближайшего стандартного размера.

В табл. 3 и 4, § 3, гл. IV выведены значения диаметров заклепок для разных типов швов в зависимости от толщины листов.

Трехрядный
шов B_3
в притык

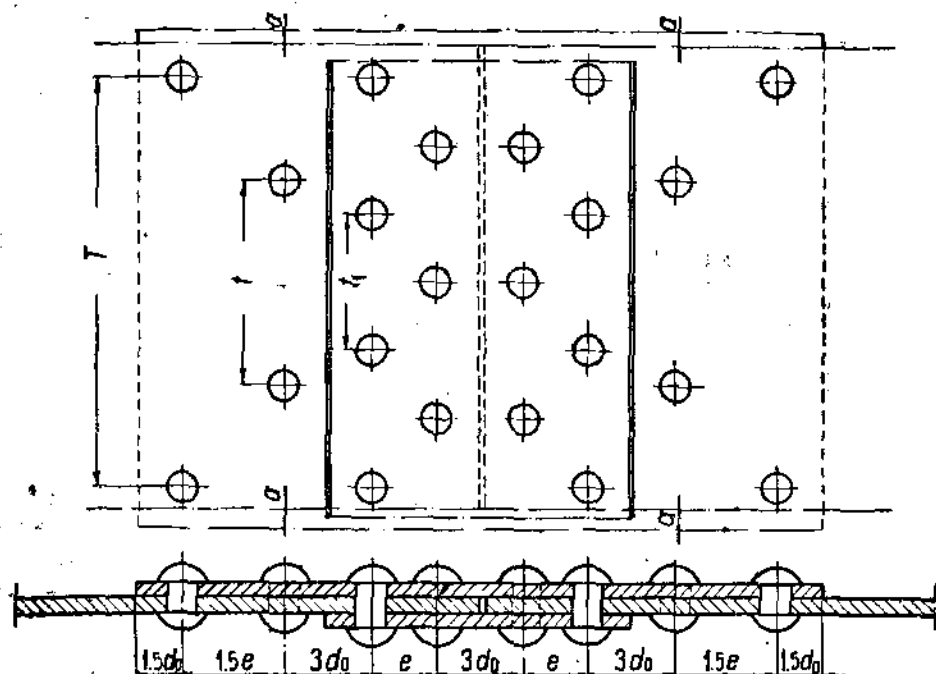
T — Расчетная велич.
 $e = 0.5t, t = \frac{1}{2}$



Фиг. 18

Фиг. 18

Четырехрядный шов в притык - В₄

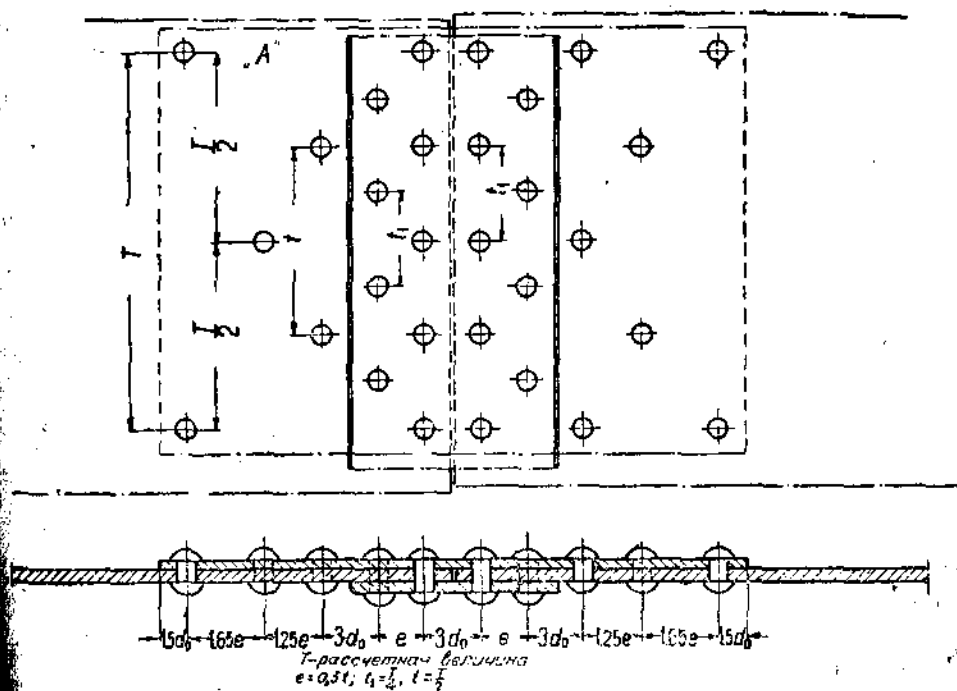


T - Расчетная величина

$e = 0.5t$; $t = \frac{1}{2}$; $f = 1.5t$; $l = \frac{1}{2}$

Фиг. 19

Пятирядный шов в притык - В₅



T - расчетная величина

$e = 0.5t$; $t = \frac{1}{2}$; $l = \frac{1}{2}$

Фиг. 20

б) Расстояние от центра заклепки до края элемента в направлении вдоль усилия (поперек шва), так называемая кромка, определяется нижеприведенными теоретическими соображениями.

Прочность на выкалывание части листа, обозначенная на фиг. 21 штриховкой, должна быть не менее прочности заклепки на срезывание:

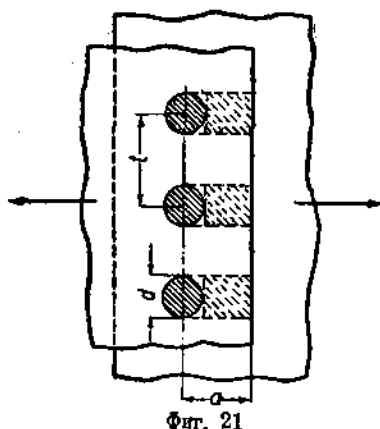
$$2(a - 0,5d) \delta k_{\text{скал}} = \frac{\pi d^3}{4} k_{\text{ср}}.$$

В этой формуле при $k_{\text{скал}} \approx k_{\text{ср}}$:

$$a > d \left(\frac{\pi d}{8\delta} + 0,5 \right).$$

При $d \approx 2\delta$ получим:

$$a = 1,3d;$$



практически принимают $a = 1,5d + 0,3\delta$; второе слагаемое представляет собой припуск кромки, осаживаемый при чеканке. Значения кромок для разных диаметров заклепок приведены в табл. 6, § 3, гл. IV.

в) Минимальное значение шага (расстояние между заклепками) (фиг. 21) обусловлено соображениями удобства клепки и согласно ТУ шаг должен быть не менее $3d_0$, где d_0 — диаметр отверстия заклепки. В исключительных случаях, обусловленных конструктивными соображениями, шаг может быть уменьшен до $2,5d_0$.

Максимальное значение шага диктуется условием плотности шва; согласно ТУ максимальное значение шага для нефтяных резервуаров 9δ , где δ — толщина листа¹.

г) Взаимное расположение рядов заклепок в многорядных швах может быть либо шахматное (фиг. 22), где заклепки каждого ряда ставятся в промежутках между заклепками соседних рядов, либо параллельное (фиг. 23), где заклепки смежных рядов ставятся друг против друга. Параллельное расположение рядов не рекомендуется, ибо это расположение, не имея никаких преимуществ, ведет только к увеличению расстояния между рядами (см. ниже), что для швов внахлестку равносильно увеличению перекрышки, а для швов впритык — увеличению ширины накладок.

Расстояние между рядами определяется следующими теоретическими соображениями.

Рассмотрим шахматный двухрядный шов (фиг. 22): сопротивление разрыву по ломаной линии abc должно быть не менее сопротивления раз-

¹ В водяных резервуарах максимальное значение шага может быть допущено 10δ .

рыву по прямой ac ; полагая, что сопротивление металла в первом случае составляет $4/5$ от сопротивления во втором случае, получим:

$$\frac{4}{5} \delta k_2 (r - d_0) = (t - d_0) \delta k;$$

$$r = \frac{5}{8} t + \frac{3}{8} d_0;$$

$$d_0 \approx \frac{t}{3}; r = 0,75 t; e > \sqrt{r^2 - \frac{t^2}{4}};$$

подставляя в эту формулу $r = 0,75t$, получим для двухрядных швов внахлестку:

$$e = 0,6t.$$

При параллельном расположении заклепок аналогично можно вывести $e = 0,8t$.

Для трехрядных швов внахлестку и двухрядных швов впритык берется значение $e = 0,5 \cdot t$.

Взаимное расположение рядов для трех-, четырех- и пятирядных швов впритык показано на фиг. 18, 19, 20.

Приведенные значения e для разных типов швов при шахматном расположении рядов нормированы ТУ.

Введем важное понятие, необходимое для дальнейшего изучения швов, — так

называемый коэффициент полезного действия шва (к. п. д.) φ .

Под к. п. д. шва понимается отношение напряжения металла по целому месту к напряжению по ослабленному заклепочными отверстиями месту; так как числитель в этом отношении всегда меньше знаменателя, то к. п. д. всегда меньше единицы. В дальнейшем рассмотрение разных типов швов будем вести по степени увеличения к. п. д., являющегося основным показателем экономичности шва.

Обозначения:

P — растягивающая сила на 1 пог. см шва в кг/см,

k — допускаемое напряжение железа на растяжение в кг/см²,

k_0 — напряжение железа на растяжение по целому, неослабленному заклепками сечению листа в кг/см²,

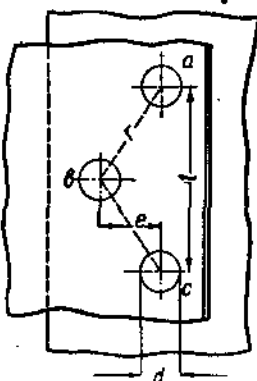
k_{cp} — допускаемое напряжение заклепок на срезывание в кг/см²,

$k_{см}$ — допускаемое напряжение заклепок на смятие в кг/см²,

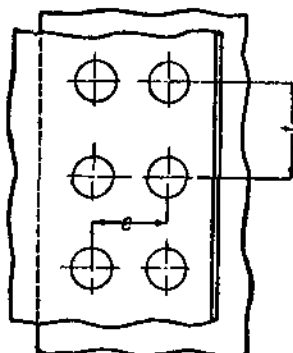
d — диаметр заклепок в см,

d_0 — диаметр отверстий в см,

ω — площадь отверстия заклепки в см²,



Фиг. 22



Фиг. 23

¹ Это же обозначение принято для максимального действительного напряжения металла по шву.

δ — толщина листа в см,
 S_{cp} — сопротивление на одиночный срез одной заклепки в кг,
 S_{cm} — сопротивление на смятие одной заклепки в кг,
 t — расчетный шаг заклепок для швов внахлестку двух- и трехрядных и швов впритык двухрядных с равными накладками в см,
 T — расчетный шаг заклепок для швов впритык трех- и четырехрядных с неравными накладками в см,
 e — расстояние между рядами заклепок в см,
 n — количество заклепок в пределах шага t (соответственно T),
 N — количество срезов в шве в пределах шага t (соответственно T),
 φ — к. п. д. шва.

Швы внахлестку

Ввиду того что все формулы для расчета двух- и трехрядных швов внахлестку имеют одинаковую структуру, в дальнейшем дадим вывод этих формул независимо от количества рядов.

Условное обозначение швов внахлестку — L_2, L_3 ; значок у буквы означает количество рядов.

Все заклепки этих швов односрезные (фиг. 15 и 16):

$$\begin{aligned} \text{для швов } L_2 \dots N=n=2 \\ \text{» » } L_3 \dots N=n=3. \end{aligned}$$

При расчете прочности шва должны быть соблюдены следующие три условия:

1) напряжение листа между заклепками в пределах шага t не должно превосходить допускаемого напряжения на растяжение;

2) напряжение заклепок не должно превосходить допускаемого напряжения на срез и смятие;

3) зависимость между диаметром отверстия и толщиной листов должна удовлетворять условию: $d_0 = \sqrt{5\delta} - 0,4$.

$$Pt = \delta(t - d_0)k; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} Pt &= \frac{N\pi d_0^3}{4} k_{cp} = N\omega k_{cp} = NS_{cp}; & (2a) \\ Pt &= n\delta d_0 k_{cm} = nS_{cm}; & (2b) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$d_0 = \sqrt{5\delta} - 0,4. \quad (3)$$

Теоретически, решая ур-ния (1), (2), (3), при известных значениях $P, (k, k_{cp}, k_{cm})$, можно определить значения d_0, δ, t . Из двух ур-ний (2a) и (2b) берут то, которое дает наименьшее значение t . В швах внахлестку $S_{cp} < S_{cm}$, поэтому расчет ведется по ур-нию (2a).

Практически, во избежание весьма громоздких вычислений, расчет ведется следующим образом: задавшись значением $\frac{t-d_0}{t}$ (для швов L_2 оно принимается равным 0,70, для швов L_3 равным 0,75), из ур-ния (1) определяется $\delta = \frac{Pt}{(t-d_0)k}$; после этого из ур-ния (3) или по табл. 3 и 4, § 3, гл. IV определяется значение d_0 ; наконец, из ур-ния (2a) определяется значение $t = \frac{N\pi d_0^3 k_{cp}}{4P} = \frac{NS_{cp}}{P}$.

Получив в предварительном расчете теоретическое значение шага t и δ и зафиксировав действительное (конструктивное) значение t (в соответствии с размерами листов), следует проверить окончательные значения напряжений k и k_{cp} по ф-лам (1) и (2а):

$$k = \frac{Pt}{\delta(t-d_0)},$$

$$k_{cp} = \frac{Pt}{N\omega}.$$

Нетрудно видеть, что для швов внахлестку выражение $\frac{t-d_0}{t}$ означает к. п. д.; в самом деле:

напряжение листа по целому сечению: $k_0 = \frac{P}{\delta}$,

напряжение листа по ослабленному сечению: $k = \frac{Pt}{\delta(t-d_0)}$.

Следовательно, $\varphi = \frac{k_0}{k} = \frac{t-d_0}{t}$.

Как мы уже указывали выше, средние значения φ следующие:

для швов $L_2N = n=2$; $\varphi = 0,70$
 > > $L_2N = n=3$; $\varphi = 0,75$.

Швы впритык

Условное обозначение швов впритык следующее: B_2, B_3, B_4 ; значок у буквы обозначает количество рядов. Швы впритык могут быть подразделены на следующие основные группы:

1) швы с равными накладками, перекрываемые с обеих сторон одинаковыми по ширине вкладками; в нашей резервуарной практике из швов этого типа применяются только двухрядные швы (фиг. 17);

2) швы с неравными накладками, перекрываемые с обеих сторон накладками разной ширины (фиг. 18, 19, 20) — широкой внутри резервуара и узкой (подвергающейся чеканке) — снаружи. Заклепки в пределах узкой накладки — двухсрезные; заклепки же, находящиеся на краях широкой накладки, вышущенной за пределы узкой накладки, — односрезные. В нашей резервуарной практике из швов этого типа наиболее широкое применение имеют швы трех- и четырехрядные, швы пятирядные применяются редко — только в резервуарах очень большой емкости (свыше 10 000 м³).

1. Швы впритык с равными накладками — двухрядные (фиг. 17). Все заклепки двухсрезные: $n=2, N=4$.

Аналогично швам внахлестку для расчета швов B_2 действительны следующие уравнения:

$$Pt = \delta(t-d_0)k. \quad (1)'$$

$$Pt = N \frac{\pi d_0^2}{4} k_{cp} = N \omega k_{cp} = N S_{cp}; \quad (2a)' \quad (2)''$$

$$Pt = n \delta d_0 k_{cm} = n S_{cm}. \quad (2b)'$$

$$d_0 = \sqrt{5\delta} = 0,6. \quad (3)$$

Метод определения неизвестных величин δ, t, d_0 и проверки напряжений тот же, что для швов внахлестку. В отличие от швов внахлестку

(ввиду двусрезных заклепок) следует, однако, пользоваться тем из двухуровневых (2a)' и (2b)', которое дает наименьшее значение шага t ; при проверке же напряжений следует проверять как срезающее, так и сминающее напряжение заклепок (по ф-лам 2a' и 2b').

Аналогично швам внахлестку $\varphi = \frac{k_0}{k} = \frac{t - d_0}{t}$.

По численному значению к. п. д. близок к швам L_3 ; $\varphi = 0,75$.

Определение толщины накладки см. ниже.

2. Швы впритык с неравными накладками трех- и четырехрядные — B_3 и B_4 (фиг. 18, 19). Заклепки одно- и двусрезные. Расчетный шаг — T , шаги t и t_1 являются производными шага T . Для швов B_3 : $n = 5$, $N = 9$; для швов B_4 : $n = 9$, $N = 15$.

Условие прочности листов для швов B_3 (фиг. 18) выражается следующими уравнениями:

$$\begin{array}{lll} \text{для I ряда заклепок} & \dots PT & = \delta(T - d_0)k, \\ \text{» II » »} & \dots PT - S_{cp} & = \delta(T - 2d_0)k, \\ \text{» III » »} & \dots PT - 3S_{cp} & = \delta(T - 2d_0)k. \end{array}$$

Условие прочности листов для швов B_4 (фиг. 19):

$$\begin{array}{lll} \text{для I ряда заклепок} & \dots PT & = \delta(T - d_0)k, \\ \text{» II » »} & \dots PT - S_{cp} & = \delta(T - 2d_0)k, \\ \text{» III » »} & \dots PT - 3S_{cp} & = \delta(T - 3d_0)k, \\ \text{» IV » »} & \dots PT - 6S_{cp} & = \delta(T - 3d_0)k. \end{array}$$

Путем алгебраических преобразований любое из вышеприведенных уравнений может быть приведено к форме: $k = \frac{P}{\delta\varphi}$ или $P = k\delta\varphi$, где φ — к. п. д. шва по данному ряду заклепок. Так как напряжение железа в разных рядах заклепок разное, то φ имеет разное значение, и расчетным является, очевидно, минимальное значение φ (по тому ряду заклепок, где k имеет максимальное значение); φ в данном случае является функцией величин P , T , d_0 (частное выражение для φ см. ниже).

Ознакомившись с этими предварительными соображениями для расчета швов впритык с неравными накладками, можем написать аналогично предыдущим типам швов следующие три уравнения:

$$\begin{array}{ll} PT = \varphi\delta k, & (1)'' \\ PT = N \frac{\pi d_0^2}{4} k_{cp} = N\omega k_{cp} = NS_{cp}, & (2a)'' \\ PT = n\delta d_0 k_{cm} = nS_{cm}, & (2b)'' \\ d_0 = \sqrt{5\delta} - 0,6. & (3)'' \end{array}$$

Метод определения неизвестных величин δ , T , d_0 и проверки напряжений тот же, что для швов B_2 . Среднее значение φ , принимаемое в расчет: для швов B_3 : $\varphi = 0,85$, для швов B_4 : $\varphi = 0,90$. Проверку напряжений листов k следует проводить по всем рядам заклепок.

Попутно отметим, что при листовом материале из Ст3_{пол}, Ст2_{пол} с пробитыми (и нерассверленными) заклепочными отверстиями при допусках напряжений согласно Единых норм ($k = 1200 \text{ кг/см}^2$, $k_{cp} = 840 \text{ кг/см}^2$, $k = 2000 \text{ кг/см}^2$) максимальное напряжение всегда по второму шву (для швов B_3 и B_4), где

$$k = \frac{PT - S_{cp}}{\delta(T - 2d_0)},$$

но так как $k_0 = \frac{P}{\delta}$, то:

$$\varphi = \frac{k_0}{k} = \frac{P(T - 2d_0)}{PT - S_{cp}}$$

Аналогично трех- и четырехрядным швам впрыток рассчитывается пяти- рядный шов с неравными накладками — по одному из типов, изображенных на фиг. 20, к. п. д. этих швов $\varphi \approx 0,95$.

Еще более высокого к. п. д. (до 0,97) можно достигнуть путем применения так называемых швов с зигзагообразными накладками, изображенными на фиг. 24 и 25.

Внутренняя накладка (не подвергающаяся чеканке) на фиг. 25 может быть сделана без вырезов. Швы этого типа ввиду большой сложности их изготовления применяются весьма редко — в резервуарах очень больших емкостей — для газгольдеров.

В заключение приведем теоретические соображения для расчета толщины накладок в швах впрыток.

Обозначим толщину накладки через δ_1 ; прочие обозначения те же, что выше.

Условия сопротивления накладок и листов смятию в пределах шага T для швов B_1 и B_2 (шага t для швов B_2):

$$\delta_1 = \frac{PT}{Nd_0k_{cm}};$$

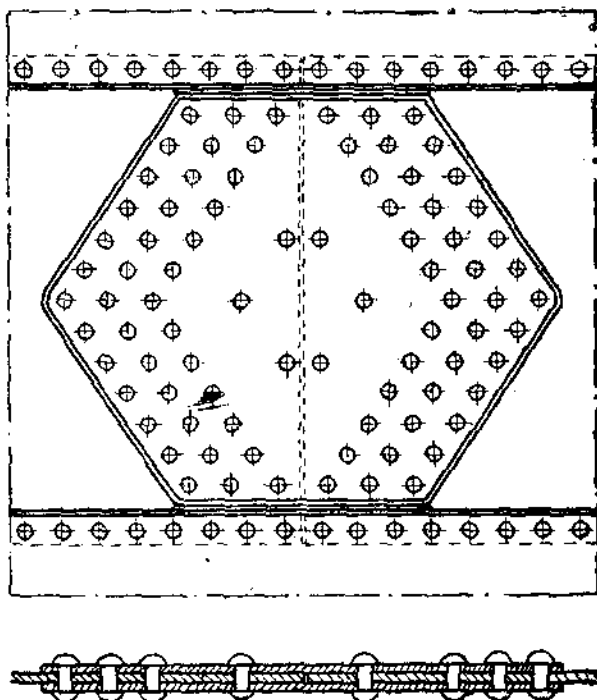
$$\delta = \frac{PT}{nd_0k_{cm}}.$$

Введя обозначение: $\mu = \frac{N}{n}$, получим:

$$N = \mu \cdot n;$$

$$\delta_1 = \frac{PT}{\mu \cdot n \cdot d_0k_{cm}} = \frac{\delta}{\mu}.$$

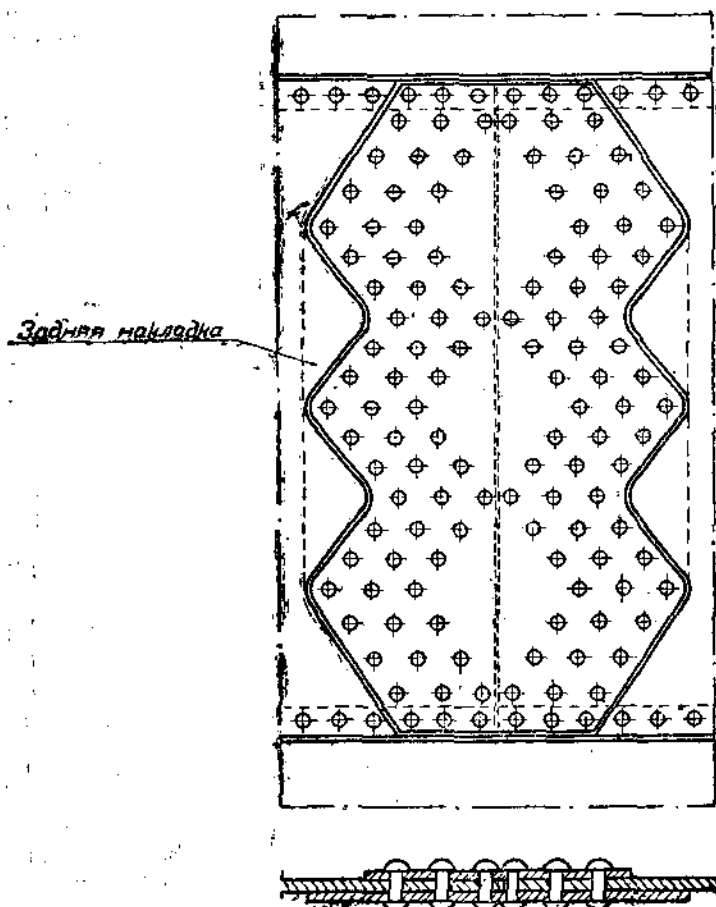
Считаясь с возможностью износа и ржавления накладок, практически полученная величина умножается на коэффициент 1,2.



Фиг. 24

Таким образом окончательно имеем:

$$\delta_1 = 1,2 \cdot \frac{\delta}{\mu},$$



Фиг. 25

где

$$\mu = \frac{N}{n};$$

для швов $B_2 \dots \mu = \frac{4}{2} = 2$

» » $B_3 \dots \mu = \frac{9}{5} = 1,8$

» » $B_4 \dots \mu = \frac{15}{9} = 1,67$

Подставляя значения μ в последнее уравнение, получим:

для швов $B_2 \dots \delta_1 = 0,60 \delta$

» » $B_3 \dots \delta_1 = 0,67 \delta$

» » $B_4 \dots \delta_1 = 0,72 \delta$

Из изложенного в настоящем параграфе видно, что по мере увеличения к. п. д. уменьшается потребная толщина листов, т. е. облегчается конструкция. Сравнительная оценка швов и вопрос о выборе типа шва подробно изложены в главе IV, § 3.

§ 7. Плотные швы

В так называемых плотных швах заклепочные соединения не напряжены или напряжены весьма незначительно. Плотные швы делаются, как правило, внахлестку, большей частью однорядными (фиг. 14), реже двухрядными (фиг. 15).

Диаметр отверстий для заклепок в плотных швах определяется по формуле:

$$d = \sqrt{5\delta} - 0,4$$

или

$$d = (\delta + 0,7) \text{ см.}$$

Шаг заклепок плотных швов определяется по формулам:

$$\begin{aligned} \text{для однорядных швов} & \dots\dots\dots t = 3d_0 \\ \text{» двухрядных »} & \dots\dots\dots t = (4d_0 + 0,8) \text{ см.} \end{aligned}$$

Принятый в резервуаростроении шаг заклепок для плотных однорядных швов приведен в табл. 5, § 3, гл. IV.

В конструкциях, где высокая плотность шва (например дымовые трубы) не имеет существенного значения, шаг заклепок однорядных швов принимается: $t = 5d_0$.

Расстояние между рядами заклепок в плотных швах при двойном шахматном расположении принимается: $e = 1,75d_0$.

Расстояние от центра заклепки до края элемента (кромка) в плотных швах, подлежащих чеканке, как и в прочно-плотных швах, определяется по формуле:

$$a = 1,5d_0 + 0,3\delta \text{ (табл. 6, § 3, гл. IV).}$$

При отсутствии чеканки в швах с незначительной плотностью (например в дымовых трубах) может быть принята $a = 2d_0$.

В тонких листах (толщиной 2—3 мм), не поддающихся чеканке, как мы уже упоминали, плотность шва достигается прокладкой между листами льняной ленты шириной 30—35 мм, пропитанной свинцовым суриком. Швы этого типа применяются в герметических крышах вертикальных цилиндрических резервуаров (см. ниже) и в оболочке газгольдеров. При принятом в этих конструкциях диаметре заклепок в 8 мм шаг берется 25 мм. В случае применения специальных заклепок с широкими и высокими головками (фиг. 6) шаг заклепок может быть увеличен до 30 мм.

На этом общую теорию заклепочных соединений закончим и перейдем ко второму, более современному способу соединения металлических частей — сварке.

Сварные соединения

§ 8. Общие сведения о сварке

Классификация видов сварки

Под сваркой понимается такое соединение металлов, доведенных при помощи тепла до жидкого или тестообразного состояния, при котором место соединения и прилегающие части образуют однородное целое одинакового по возможности состава¹.

В настоящее время не существует еще общепринятой во всех странах классификации видов сварки.

Принятая в Германии в 1927 г. классификация устанавливает номенклатуру сварки в зависимости от состояния, до которого доводятся свариваемые металлические части.

А. Сварка под давлением — соединение частей изделия в тестообразном состоянии; сюда относятся следующие способы:

- а) кузнечная сварка (огневая, водяным газом),
- б) электросварка сопротивлением,
- в) термитная сварка (при нагреве соединяемых частей до тестообразного состояния).

Б. Сварка плавлением — соединение частей изделия в расплавленном состоянии; сюда относятся следующие способы:

- а) способ доливания расплавленным металлом,
- б) дуговая электросварка (Бенардос, Славянов, Чернер),
- в) газовая сварка: светильным газом, водородом, ацетиленом или жидким топливом, приведенным в газообразное состояние,
- г) термитная сварка (при нагреве соединяемых частей до расплавленного состояния).

Классификация видов сварки, принятая в Америке, а также классификация по проекту ОСТ приведены в прил. 18, 19.

Преимущества сварки перед клепкой

Хотя изобретение современных способов сварки относится еще к концу прошлого столетия, однако ее большое промышленное применение (в особенности электрических способов сварки) началось лишь после мировой войны, в первую очередь в Америке.

Преимущества сварки перед заклепочными соединениями следующие:

- 1) экономия металла до 15—20%, являющаяся результатом полного использования металла (без вычетов заклепочных отверстий), а также более простого конструктивного оформления, присущего сварным соединениям (уменьшение количества фасонки, накладок, коротышей и пр.);
- 2) сокращение процессов заводской обработки — разметки, пробивки отверстий, чеканки и связанная с этим экономия времени;
- 3) значительное упрощение проектирования.

Все это, вместе взятое, помимо экономии металла и сокращения сроков, влечет удешевление изделия до 25—35%.

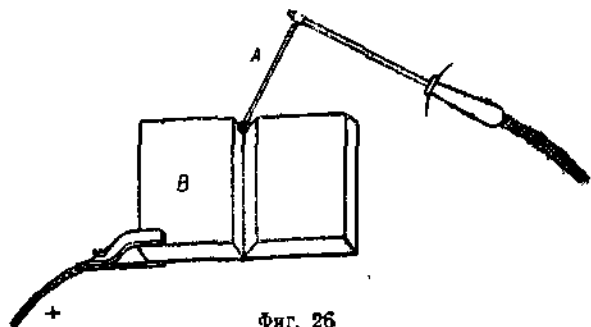
¹ Сварку нужно отличать от паяния, под которым понимается соединение двух кусков металла посредством третьего, приведенного в жидкое состояние, температур плавления которого ниже температуры плавления основных соединяемых частей.

Не останавливаясь на прочих видах сварки, детальное описание которых изложено в специальной литературе, дадим краткую характеристику дуговой электросварки вольтовой дугой как способа, вследствие своей простоты и дешевизны чаще всего применяемого при изготовлении металлических конструкций¹. Способ этот заключается в том, что бромки железа, подлежащие сварке, расплавляются вольтовой дугой (температура дуги 3500°), а пространство между ними заполняется железом, близким по составу к свариваемым частям. Существуют три основных способа дуговой сварки:

1. Способ Бенардоса, изобретенный в 1885 г. русским инж. Бенардосом, использовавшим в качестве одного электрода свариваемый предмет, а в качестве другого — угольный стержень; в этом случае в качестве присадочного материала (наплавки) добавляется металлический стержень, расплавляемый вольтовой дугой.

2. Способ Славянова, изобретенный русским инж. П. Г. Славяновым в 1891 г., заменившим угольный электрод металлическим, служащим одновременно для наплавки металла.

3. Способ Цернера, изобретенный в Германии в 1891 г., заключающийся в образовании дуги между двумя угольными электродами, лежащими вне свариваемого предмета, с направлением дуги в сторону этого предмета помощью электромагнита. Добавочный электродметалл, как и в способе Бенардоса, вводится в виде специального металлического стержня.



Фиг. 26

Из указанных видов электродуговой сварки наиболее широкое распространение получил способ Славянова. Пока применяется, главным образом, ручной способ электросварки, но за границей сконструированы уже автоматы, а также сделаны первые шаги в этой области и у нас².

Для возможности продвижения металлического электрода последний вставляется в так называемый электрододержатель (фиг. 26), связанный при помощи гибкого кабеля со сварочным устройством.

При выполнении сварочных работ вольтовой дугой должны быть приняты особые меры по охране зрения сварщика вследствие ослепительно яркого света вольтовой дуги и вредного воздействия невидимых инфракрасных и ультрафиолетовых лучей. С этой целью каждый сварщик должен быть снабжен щитком (фиг. 35) или шлемом со специальными стеклами (комби-

При выполнении сварочных работ вольтовой дугой должны быть приняты особые меры по охране зрения сварщика вследствие ослепительно яркого света вольтовой дуги и вредного воздействия невидимых инфракрасных и ультрафиолетовых лучей. С этой целью каждый сварщик должен быть снабжен щитком (фиг. 35) или шлемом со специальными стеклами (комби-

¹ См. литературу: П. Бардtko, Техника сварки, Гострансиздат, 1932; Т. Каутки, Руководство для газосварщиков, ГПТИ, 1931; П. Шимпке и Г. Горн, Электрическая сварка, ГПТИ, 1931; Ю. М. Кутузов, Практическое руководство по электросварке, Транспечать, 1930; А. С. Огневский, Электрическая сварка металлов, ГПТИ, 1931.

² См. Н. В. Бродович и В. Я. Попко, Автоматы для дуговой сварки металлическим электродом, Гострансиздат, 1931.

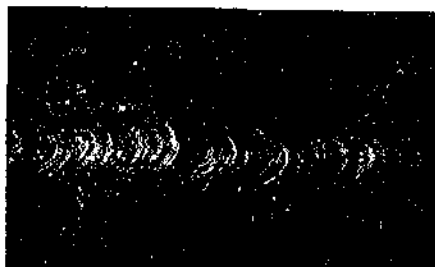
нация красных и зеленых стекол). Помимо того, во избежание вредного действия этих лучей на кожу и для защиты от ожогов вследствие разбрызгивания электродов сварщики снабжаются соответствующей спецодеждой.

Развиваемое вольтовой дугой тепло расплавляет не только электрод, но и самый металл, образуя в нем маленькое углубление — так называемый «кратер» (фиг. 30 А). Наличие кратера, характеризующего провар, является основным моментом дуговой сварки. Правильная наплавка в поперечном сечении должна иметь вид, изображенный на фиг. 27, с внедрением в основной материал на 1,5—2 мм. Примеры удовлетворительных по внешнему виду наплавов изображены на фиг. 28, 29.



Фиг. 27

Качество сварки и ее прочность зависят от качества применяемых электродов, выбора типа машин, правильного электрорежима (напряжения и силаток) и квалификации и добросовестности сварщиков. Сварщик должен быть сам убежден в том, что его работа дает хорошие результаты. Это особенно важно, если учесть, что в настоящее время почти не существует объективных способов для определения качества шва, исклю-



Фиг. 28



Фиг. 29

чая испытания образцов в механической лаборатории — способ, который может быть применим, по существу, только при испытании самих сварщиков. Существующие же физические методы испытания швов (электромагнитный метод, рентгеновскими лучами, акустический метод) не имеют пока широкого промышленного значения.

На фиг. 30 изображено несколько наплавов, характеризующих качество сварки по наружному осмотру: А — хорошая сварка; В — плохая сварка, длинная дуга; С, D — плохая сварка, слабый ток (обрыв наплавки); Е — плохая сварка, сильный ток (тонкая и расплывчатая сварка с частичными прожогами основного металла).

Укажем несколько основных правил, которые надлежит соблюдать для получения сварки хорошего качества:

1) шов должен быть хорошо проварен по всей поверхности прилегания наплавки к основному материалу; величина провара (глубина кратера) должна равняться 1,5—2 мм. На фиг. 31 изображен шов, плохо проваренный (без провара вершины угла); на фиг. 32 — хороший провар;

2) при сварке должна поддерживаться короткая дуга (2—3 мм); в противном случае могут иметь место обрыв дуги и окисление шва;

3) во избежание ударочных напряжений и деформации свариваемых

элементов должны быть приняты соответствующие меры (правильная последовательность сварки, сварка короткими участками и пр.);

4) свариваемые поверхности должны быть предварительно очищены (зубилом и щеткой) от краски, ржавчины, грязи и пр.

5) при сварке шва в несколько слоев, перед наложением каждого последующего слоя, предыдущий слой должен быть очищен от шлака;

6) в случае короткого замыкания и перегрева основного материала сварщик обязан зубилом вырубить прогар и очистить это место щеткой;

7) при сварке должны быть приняты оградительные меры против действия непогоды (снега, дождя, ветра);

8) положение швов, свариваемых на месте монтажа, должно быть вычерчено в малярских на железе;

9) неудовлетворительные по качеству швы должны, безусловно, вырубаться и заменяться новыми.

В зависимости от расположения швов в пространстве последние могут быть подразделены на следующие группы (фиг. 33):

1) нижние швы, расположенные в горизонтальной плоскости, при сварке которых электрод приходится держать над швом;

2) горизонтальные швы, расположенные горизонтально в вертикальной плоскости;

3) вертикальные швы, расположенные вертикально в вертикальной плоскости;

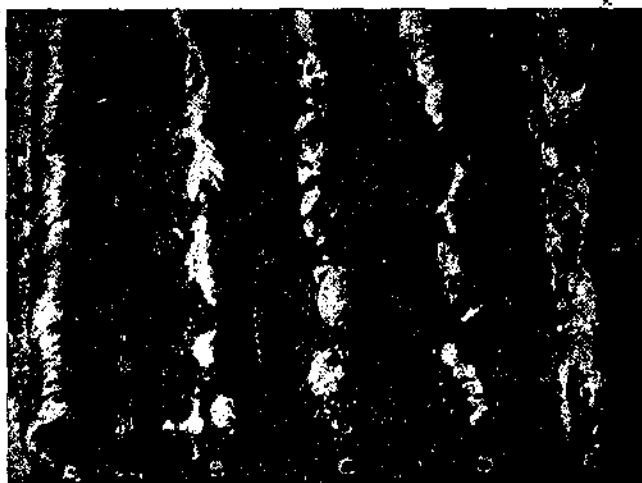
4) потолочные швы, при сварке которых электрод находится ниже шва и возможно стекание капель с последнего.

В производстве легче всего поддаются сварке нижние швы; горизон-

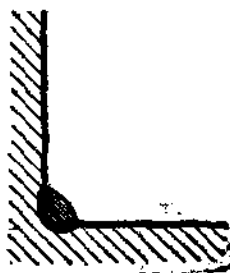
тальные и вертикальные швы также не представляют особых затруднений; потолочные же швы чрезвычайно затруднительны в производстве и их следует по возможности избегать.

В зависимости от того, идет ли шов сплошной линией, без перерыва, или состоит из отдельных прерывающихся частей, швы могут быть сплошные (фиг. 59) или прерывистые (фиг. 58).

Практика дуговой сварки показала, что механические свойства сварных соединений в весьма значительной степени зависят от качества применяе-



Фиг. 33



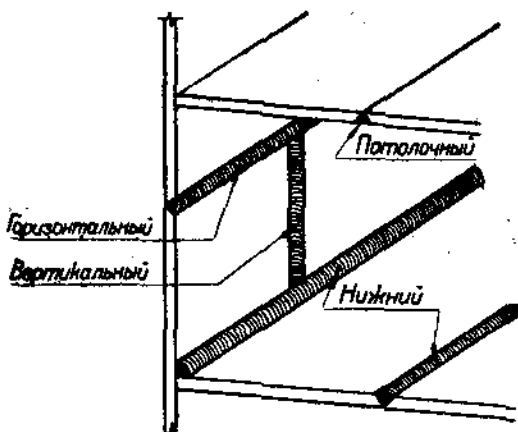
Фиг. 31



Фиг. 32

ных электродов, и на выбор электродов поэтому надлежит обращать особо серьезное внимание. Электрод должен быть таким, чтобы наплавляемый металл обладал теми же механическими свойствами, что и основной металл конструкции. Металл электрода должен быть по своей структуре однообразен, сечение электрода равномерным по всей его длине, в работе электрод должен легко плавиться без разбрызгивания. Общесоюзный стандарт электродов (ОСТ 2407) предусматривает толщину последних в 2, 3, 4, 5, 6, 7 мм, длину — 400 мм и 4 марки в зависимости от химического состава.

При постоянном токе применяются обыкновенно так называемые голые электроды, т. е. электроды без обмазки, и только в случае потолочной сварки применяются покрытые — обмазанные электроды. Согласно ТУ покрытые электроды обязательны при переменном токе ввиду неустойчивости дуги, а также для предохранения расплавленного металла от окисляющего действия воздуха.



Фиг. 33

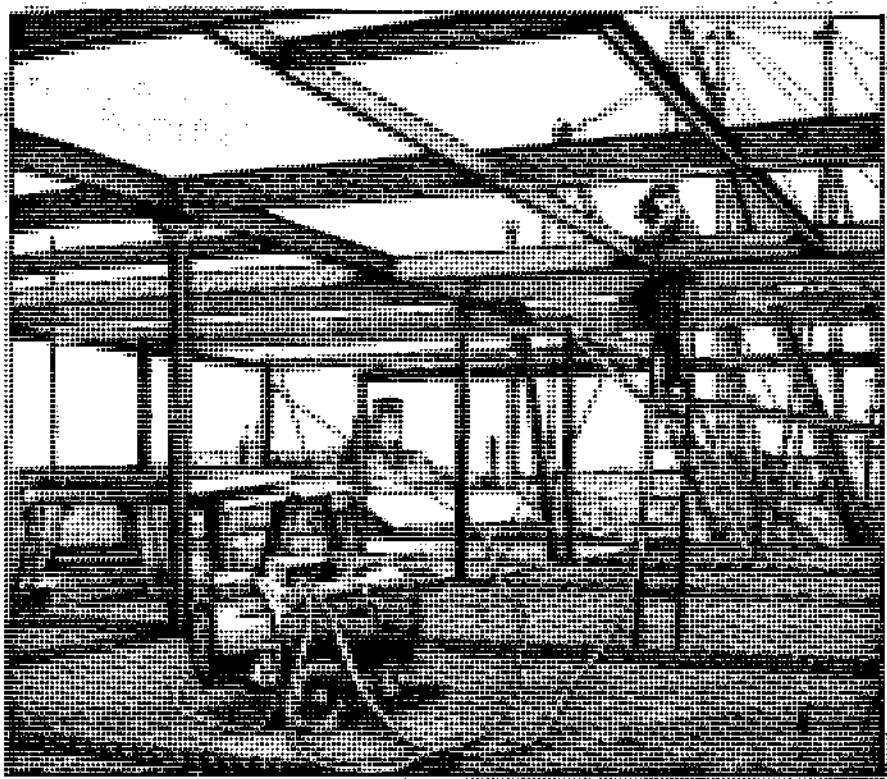
Обмазка электродов пока не стандартизована и в разных предприятиях изготавливается по разным рецептам (графит, алюминий, мел, магний и пр.). Обмазка должна плотно прилегать к металлическому стержню, иметь равномерную толщину и обладать достаточной пористостью для выделения газов из электрода при его нагревании; образующийся при плавлении электрода шлак должен быть жидким и всплывать на поверхности металла.

В Америке применяются в последнее время еще так на-

зываемые обмотанные электроды, весьма дорогие, требующие опытных сварщиков, но дающие очень надежную защиту наплавленному металлу от окисления и чрезвычайно легко плавящиеся. Обмотка этих электродов состоит из асбестовой пряжи, пропитанной особым составом.

При электросварке вольтовой дугой в качестве энергии может быть применен как переменный, так и постоянный ток. В первом случае ввиду высокого напряжения имеющегося в сетях постоянного тока (обыкновенно не менее 220 В) получение напряжения дуги в 18—65 В, требуемого для сварки путем включения сопротивления во внешнюю сеть, чрезвычайно невыгодно и связано с большими потерями. В этом случае пользуются специальными генераторами постоянного тока с приводом от электромотора или другого первичного двигателя. На фиг. 34 изображена сварка генератором постоянного тока при сборке каркасного здания. От одного и того же генератора могут быть ответвления для двух, трех и более электрододержателей (двух-, трех- и многопостные машины).

При пользовании переменным током применяются специальные сварочные трансформаторы, снижающие напряжение сети (обыкновенно 110—120 В) до напряжения, требуемого для сварки (55—65 В). На фиг. 35 изображена сварка помощью трансформатора.



Фиг. 34

Ввиду того что при постоянном токе положительный полюс развивает 75% общего количества теплоты дуги, неравномерность развиваемой в дуге теплоты используется для подогрева предметов, подлежащих сварке; поэтому при постоянном токе положительный полюс машины соединяется со свариваемым предметом, отрицательный — с электрододержателем (электродом, фиг. 26). При сварке же тонких листов (во избежание перегрева последних) положительный полюс соединяется с электродом, а отрицательный — со свариваемым предметом. Само собой разумеется, что при сварке переменным током полярность отсутствует.

Стоимость генераторов постоянного тока выше стоимости трансформаторов, расход энергии в первом случае также выше, чем во втором. Однако ввиду необходимости применения при переменном



Фиг. 35

токе более дорогих — обмазанных — электродов, а также вследствие разбрызгивания в этом случае электродов, стоимость сварки постоянным и переменным токами почти одинакова, особенно при многоступенчатых генераторах. Помимо того генераторы постоянного тока более универсальны, на них можно варить всякие швы (нижние, горизонтальные, вертикальные, потолочные), тогда как при переменном токе потолочные швы весьма трудно поддаются сварке.

§ 9. Типы сварных соединений и их расчет

В настоящее время не существует еще строго определенной номенклатуры сварных соединений, и наша номенклатура не совпадает с номенклатурой, принятой в Германии и Америке¹. В дальнейшем будем придерживаться номенклатуры, установленной инструкцией ИННОРС² для сварных металлических конструкций.

Согласно этой номенклатуре сварные соединения подразделяются на следующие типы:

1. Соединения встык (фиг. 36), когда торцы элементов прикладываются друг к другу и пространство между ними заливается электрометаллом.

2. Соединения внахлестку (фиг. 37, 38, 39), когда один элемент накладывается на другой и взаимное их соединение достигается либо швами, параллельными действию внешней силы (фланговые швы), либо швами, перпендикулярными действию силы (лобовые швы).

3. Соединения накладками (фиг. 40, 41, 42, 43, 44, 45), где торцы элементов прикладываются друг к другу и стык осуществляется помощью накладок, приваренных фланговыми или лобовыми швами.

4. Прорезные соединения (фиг. 46, 47), где прорез делается в одном из элементов, прикрепляемых внахлестку. Эти соединения делаются обычно в дополнение к фланговым швам.

5. Пробочные соединения — несквозные (электрозащелки, фиг. 48) и сквозные (фиг. 49). В несквозных пробках — отверстие, делаемое в одном из прикрепляемых внахлестку элементов, заполняется электрометаллом; несквозные пробки редко употребляются как нормальное рабочее соединение, чаще всего их используют для большей плотности в дополнение к фланговым и лобовым швам (фиг. 56). Сквозные пробки как нормальное рабочее соединение вовсе не применяются, и их используют почти исключительно для заполнения имеющихся отверстий от монтажных болтов, старых заклепочных отверстий, а также для создания плотности касания пакета широких листов, сваренных по периферии.

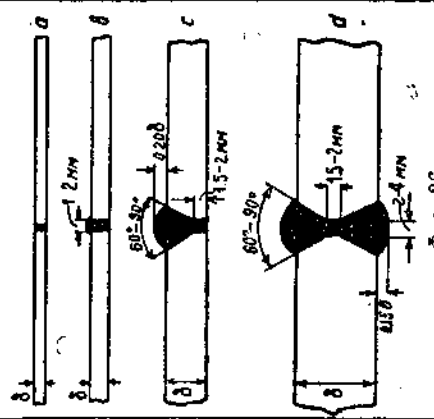
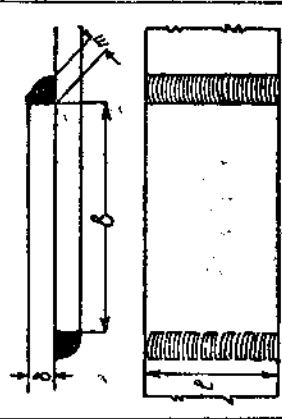
6. Т-образные соединения, когда свариваемые между собой элементы расположены под углом (чаще всего в 90°) друг к другу. Это соединение осуществляется либо встык (фиг. 50), либо фланговыми и лобовыми швами (фиг. 51).

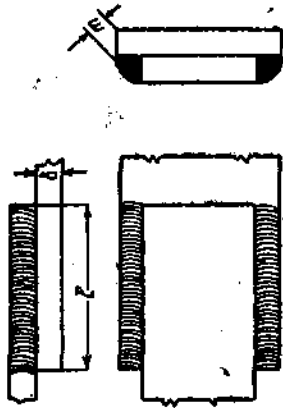
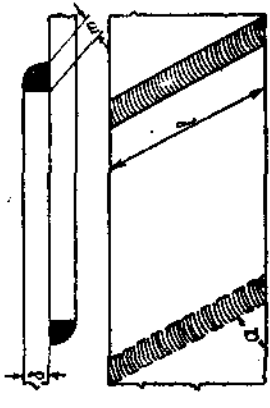
7. Соединения в угол (фиг. 52), представляющие собой, по существу, разновидность Т-образных соединений.

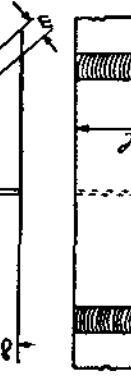
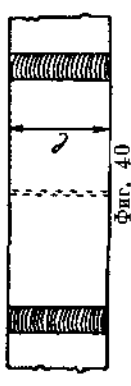
¹ Например германский термин «Kehlнаht» (переводимый иногда «шов валиком» объединяет в себе понятие о швах внахлестку, тавровых соединениях и соединениях с накладками. Термин «пробочные соединения» вовсе отсутствует в германских нормах.

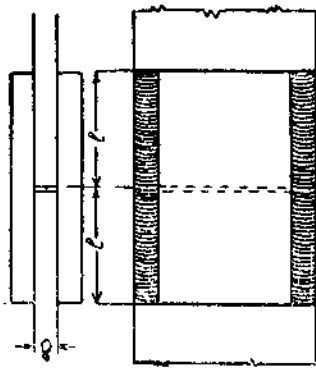
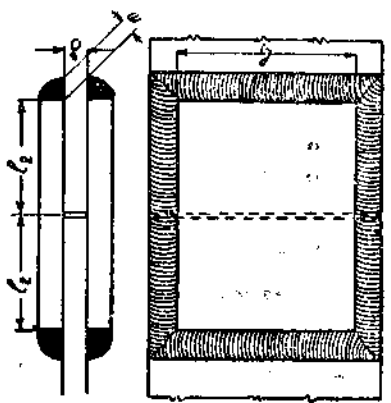
² ГИТИ, изд. 1931.

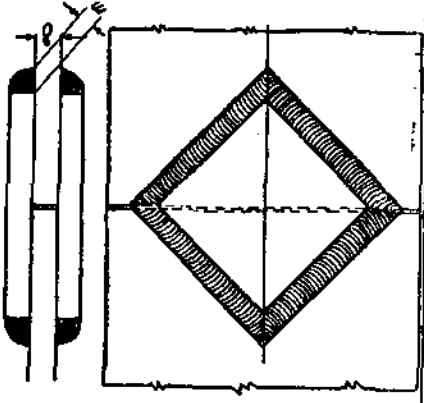
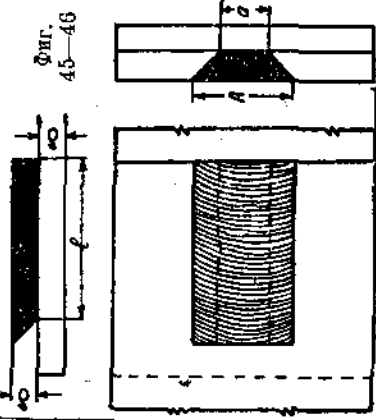
Таблица сварных соединений

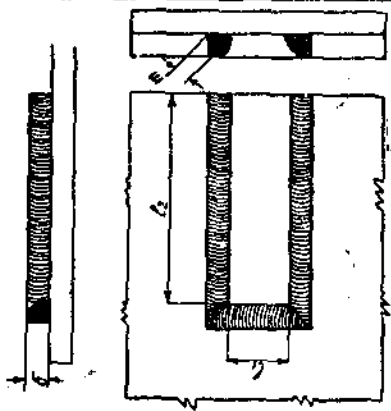
И II	Наименование соединения	Э с к з	Конструктивное оформление	Род напряжения	Формула для расчета соеди- нения	Примечание
I	ВСТЫК	 Фиг. 36	a) При $\delta = 1-2 \text{ мм}$ b) При $\delta = 3-4 \text{ мм}$ c) При $\delta = 4-16 \text{ мм}$ d) При $\delta > 16 \text{ мм}$	Растяжение (сжатие)	$P = \delta \cdot n$	1) l — длина шва 2) Пределы примени- мости отдельных типов соединений встык ука- заны ориентировочно.
II	ВНАХЛЕСТКУ 1) Лобовым швом	 Фиг. 37	$b \geq 5 \delta$	Растяжение (сжатие)	$P = 2 \cdot m \cdot n$	Нормальное соче- тение лобового и фланцевого шва согласно примеча- ния 2 к таблице

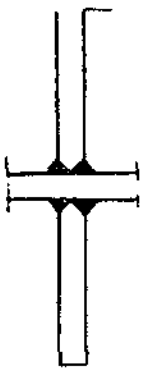
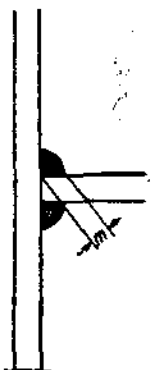
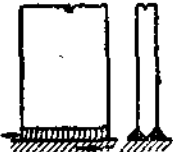
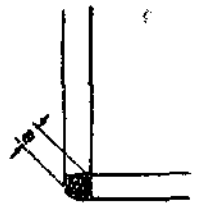
И п л а н	Наименование соединения	Э с к и з	Конструктивное оформление	Род напряжения	Формула для расчета соединения	Примечания
2)	Фланговый шов	 Фиг. 38		Срезывание	при $l \leq 25 \delta$: $P = 2 \text{ } mlt$ при $l > 25 \delta$: $P = 2 \text{ } mltc$	Значение согласно примечания 7 к таблице.
3)	Косой шов	 Фиг. 39		Срезывание или растяжение (сжатие)	При $\alpha \leq 45^\circ$ рассчитывается как фланговый шов $P = mlt$ при $\alpha > 45^\circ$ $P = mlt K$	Значение K согласно примечания 8 к таблице.

№ п/п	Наименование содержания	Э с к и з	Конструктивное оформление	Род напряжения	Формула для расчета соединений	Примечания
III	НАКЛАДКАМИ 1) Односторонние накладки а) Лобовым швом	 Фиг. 40	$b > 5 \delta$	Растяжение (сжатие)	$P = m/n$	В целях плотности соединения против проникновения влаги накладка проверяется обжиганием с четырех сторон. Дополнительные швы в этом случае делаются тонкими, около 3 мм и в расчет не вводятся.
	б) Фланговым швом	 Фиг. 41		Срезывание	$P = 2 m/t$	
	2) Двусторонние накладки а) Лобовым швом	 Фиг. 42	$b > 5 \delta$	Растяжение (сжатие)	$P = 2 m/n$	См. предыдущее примечание

Д Е Ж	Наименование соединения	Э с к и з	Конструктивное оформление	Род напряжения	Формула для расчета соединения	Примечания
	б) Фланговый шов	 Фиг. 43		Срезывание	$P = 4 mlt$	
	з) Кусковые накладки а) Лобовыми и фланговыми швами	 Фиг. 44		Растяжение (сжатие) и срезывание	$P = 2 m' l_n + 4 m' l_f$	Соединения кусковыми накладками относятся к группе так называемых комбинированных соединений (см. примечание 10 к таблице)

№ п/п	Наименование содержания	Э с к и з	Конструктивное оформление	Род напряжения	Формула для расчета соединения	Примечания
III	В) Мосты со швами (ромбическое ис- ключение)			Срезывание или растяжение (сжатие)	Аналогично ко- сым швам вне- хлестку	
IV	ПРОРЕЗНЫЕ 1) Узкая прорезь		$a = 1,5 \delta$ $A = a + 2 \delta = 3,5 \delta$	Срезывание	$P = alt$	Раззенковка не ре- комендуется; при от- сутствии раззенковки $\alpha = 2,5 \delta$

№ п. п.	Наименование соединения	Эскиз	Конструктивное оформление	Род напряжения	Формула для расчета соединения	Примечание
2)	Широкая про- резь (Фланговыми и ло- совыми швами)		Фиг. 47	Срезывание в растяжении (сжатие)	$P = m_1 m + 2 m_2 t$	1) Если пространство ме- жду швами заливаеся метал- лом, то полученная площадь затопления не входит в расчет. 2) Соединения с широкой прорезью относятся к группе таких называемых компресси- онных соединений (см. при- ложение к 10 таблице).
У	ПРОБОЧНЫЕ 1) Нескованные (электросварные)		Фиг. 48	Срезывание	$P = \frac{\pi d^2}{4} t$	1) Разъемовка не обяза- тельна, но рекомендуется в целях облегчения процесса сварки.
	2) Сварные		Фиг. 49	Срезывание	$P = \frac{\pi d^2}{4} t$	2) Несварные пробочные соединения, по существу, яв- ляются одной из разновидно- стей узкой проемы.

№ п. п.	Наименование содержания	Э с к и з	Конструктивное оформление	Род напряжения	Формулы для расчета соеди- нений	Примечания
VI	Т-ОБРАЗНЫЕ 1) Встык	 Фиг. 50		Растяжение (сжатие)	Аналогично I	Если Т-образное соеди- нение встык подвержено действию поперечной силы, то оно рассчитывается на сре- зывание.
	2) Лобовыми или фланговыми швами	 Фиг. 51		Растяжению (сжатию) или срезыванию	Аналогично Π_1 и Π_2	 Фиг. 60
VII	УГЛОВОЕ Лобовыми или фланговыми швами	 Фиг. 52		Растяжение (сжатие) или срезывание	Аналогично Π_1 и Π_2	

Швы *встык* работают на растяжение (сжатие), прорезные же и пробочные соединения — на срезывание; это положение, очевидно, и проистекает из самой природы соединений.

Фланговые и лобовые швы рассчитываются по наименьшему сечению (первые на растяжение — сжатие, вторые на срезывание) в плоскости биссектрисы прямого угла (опыты Дюстона — Бельгия), что и нашло отражение в наших нормах. По германским же и американским нормам как фланговые, так и лобовые швы рассчитываются на срезывание; последнее обстоятельство служит (учитывая меньшее допускаемое напряжение на срез, чем на растяжение — сжатие), повидимому, к усилению запаса прочности.

Строго говоря, помимо расчета на растяжение (сжатие) лобовые швы следовало бы проверять на срезывание в плоскости непосредственного касания наплавленного металла с основным материалом; но так как поверхность эта на 30% больше рабочей площади шва (по биссектрисе прямого угла), а допускаемые напряжения на срезывание на 20% меньше допускаемых напряжений на растяжение, то прочность соединения на срезывание заведомо обеспечена.

В приведенной выше таблице представлены все типы сварных соединений с изложением их способа расчета и описанием их конструктивного оформления.

Примечания к таблице сварных соединений. 1. В таблице припущены следующие обозначения:

R — допускаемое усилие соединения в кг;

n — допускаемое напряжение сварного соединения на растяжение (сжатие);

t — допускаемое напряжение сварного соединения на срез.

2. Нормальным типом лобового и флангового шва является равнобедренный треугольник со слегка выпуклой гипотенузой (фиг. 53). При этом минимальная высота наплыва в направлении биссектрисы прямого угла $m_0 = 0,8h$, расчетная высота $m = 0,7h$, где h — толщина шва (длина катета).

3. Нормальная толщина флангового и лобового шва (фиг. 53), как правило, принимается равной наименьшей из толщин двух соединяемых элементов:

$h = \delta_1$.

4. Минимальная толщина рабочих фланговых и лобовых швов должна быть не менее 4 мм. На конструкции с толщиной элементов менее 4 мм это ограничение не распространяется.

5. Максимальная толщина фланговых и лобовых швов не должна быть больше двойной толщины более тонкого из двух соединяемых элементов и, во всяком случае, не превосходить 25 мм.

50

Таким образом должны быть соблюдены неравенства:

$$\begin{aligned} 4 \text{ мм} < h < 2\delta, \\ h < 25 \text{ мм}. \end{aligned}$$

6. Минимальная длина флангового и лобового шва должна быть 40 мм в чистоте (за вычетом кратеров: $l_{\text{ч.ч.}} = 40 \text{ мм}$).

7. Значения коэффициента c в формуле для расчета фланговых швов длиной более 25 h определяются следующей таблицей.

$\frac{l}{h}$	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
c	1,000	0,967	0,934	0,900	0,867	0,834	0,800	0,767	0,734	0,700	0,667

Аналитическое выражение для c :

$$c = 1,1666 - 0,0067 \frac{l}{h}.$$

Введение коэффициента c при расчете фланговых швов длиной больше 25 h вызвано результатами исследований, показавших неравномерность распределения напряжений по длине шва.

8. Значение коэффициента K при расчете косых швов при $\alpha > 60^\circ$ определяется по формуле:

$$K = \frac{n-t}{45} \alpha + 2t - n,$$

где t и n — допускаемые напряжения шва на срезывание и растяжение (сжатие):

$$\begin{aligned} \text{при } n = 900 \text{ кг/см}^2 \text{ и } t = 720 \text{ кг/см}^2 \quad K = 4\alpha + 540 \\ \text{» } n = 600 \text{ » } \text{ и } t = 720 \text{ » } \quad K = 6,22\alpha + 400 \end{aligned}$$

9. Наибольшая длина фланговых швов, вводимая в расчет, принимается равной 75 h : $l_{\text{max}} = 75 h$.

10. Помимо основных типов сварных соединений могут быть так называемые комбинированные соединения, представляющие собой комбинацию основных типов.

К комбинированным соединениям следует отнести, например, соединение, изображенное на фиг. 54, представляющее собой комбинацию фланговых и лобовых швов внахлестку. Расчет такого соединения ведется по формуле:

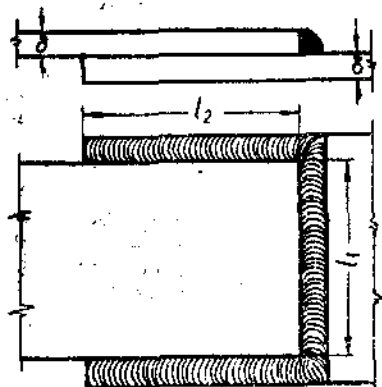
$$P = ml_1 n + 2 ml_2 t.$$

По существу соединением комбинированного типа является соединение с кусковыми накладками (фиг. 44, 45), где также имеет место сочетание фланговых швов с лобовыми, а также широкие прорезные соединения (фиг. 47). Комбинация соединения кусковыми накладками с соединением встык изображена на фиг. 55. Расчет такого соединения ведется по формуле:

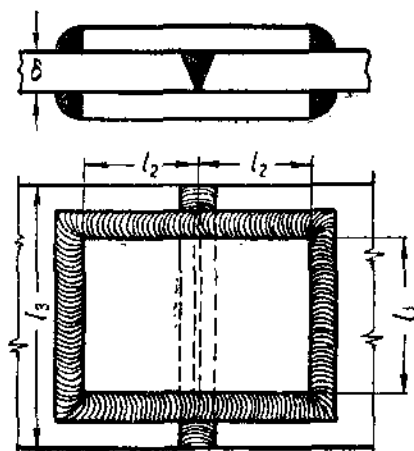
$$P = 2 ml_1 n + 4 ml_2 t + \delta l_3 n.$$

Вследствие разного модуля упругости фланговых швов и швов встык в первом случае $E \approx 1\,150\,000 \text{ кг/см}^2$, во втором случае $E \approx 2\,000\,000 \text{ кг/см}^2$; не рекомендуется совмещение этих соединений, хотя такого рода соединения достаточно распространены. По той же причине не очень желательно совмещение фланговых швов с лобовыми.

Иногда при соединении с односторонним лобовым швом последний комбинируется с электрозаклепкой, как изображено на фиг. 56, 57.



Фиг. 54



Фиг. 55

Соединение фиг. 56 более целесообразно, ибо пробка, поставленная на свободном конце нахлестки, частично уничтожает эксцентриситет соединения; соединение же фиг. 57 вследствие значительного эксцентриситета не рекомендуется вовсе к применению.



Фиг. 56



Фиг. 57

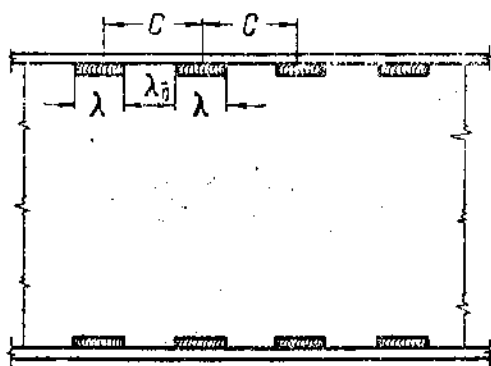
Комбинация соединения лобовым швом с электрозаклепкой (фиг. 56) рассчитывается по формуле:

$$P = mln + \frac{\pi d^2}{4} t.$$

Изложенные в таблице формулы являются исчерпывающими для расчета сварных соединений, и все встречающиеся в практике металлических конструкций соединения могут быть рассчитаны по одной из этих формул. Так, например, при сопряжении в тавр вертикальной стенки и поясного листа (фиг. 58) сплошной балки швы, соединяющие эти элементы, являются фланговыми швами, работаая на скалывающую силу, возникающую между этими элементами. Вводя обычные обозначения, принятые в курсах мостов и металлических конструкций,

Q — поперечная сила (падающая на один шов) в кг,
 S — статический момент площади горизонтального листа в см³,
 I — момент инерции сечения в см⁴,
 t — допускаемое напряжение шва на срезывание,
 получим следующие формулы для проверки напряжений в швах:
 а) для непрерывного шва:

$$t = \frac{Q \cdot S}{I \cdot 0,7 h},$$



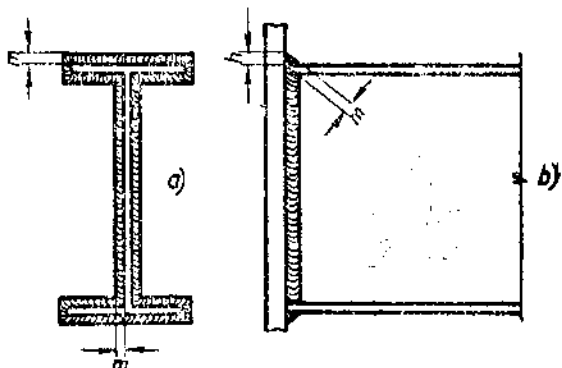
Фиг. 58

б) для прерывистого шва при длине отдельных участков шва λ и расстояниями между участками c :

$$t = \frac{Q \cdot S \cdot c}{I \cdot 0,7 \cdot h \cdot \lambda}.$$

Расстояние в свету между участками λ_0 не должно быть больше 16 толщин листа, n , во всяком случае, не превосходить 250 мм.

При работе шва на изгиб, например при проварке балки двутаврового сечения по контуру в месте защемления (фиг. 59) (не учитывая перерезывающей силы), имеет место, по существу, соединение лобовым швом и напряжение шва в такого рода соединениях рассчитывается по обычной формуле:



Фиг. 59

$$n = \frac{M}{W},$$

где W — момент сопротивления площади шва, заштрихованный на фиг. 59, а,
 M — изгибающий момент, воспринимаемый сварным швом.

При расчете соединений, работающих на изгибающий момент и поперечную силу, расчет ведется по приближенной формуле:

$$n = \sqrt{\left(\frac{M}{W}\right)^2 + \left(\frac{Q}{\omega}\right)^2},$$

где M — изгибающий момент, воспринимаемый сварным швом,

Q — поперечная сила,

W — момент сопротивления площади швов,

ω — расчетная площадь сечения швов,

n — нормальное напряжение шва.

В настоящее время не существует еще однообразной стандартной формы условного обозначения швов; у нас в СССР наибольшее распространение имеет пока система условных обозначений, предложенная проф. Вологдиным (прил. 17).

§ 10. Прочность и допускаемые напряжения сварных соединений

Выше уже было указано, что качество и прочность сварных соединений находятся в зависимости от целого ряда факторов, как то: качества применяемых электродов, выбора типа машины, электрорежима (напряжения и силы тока), а также квалификации и добросовестности сварщиков. Следствием этого являются весьма пестрые цифры, получаемые в результате испытания сварных соединений.

Ниже приводим цифры результатов испытаний образцов Института инженерных исследований ИКПС, сваренных на заводе ЦОРЗ электродами Белоречского завода ¹:

Типы соединений	Временные сопротивления			Род напряжения
	максимальные	минимальные	средние	
Встык с односторонним скосом (У шов)	3065	2650	2865	Растягивающие напряжения
Встык с двусторонним скосом (Х шов)	—	—	3020	Растягивающие напряжения
Внахлестку двойным лобовым швом	—	—	2280	Растягивающие напряжения
Внахлестку фланговым швом	3220	2340	2630	Срезывающие напряжения
Двойными накладками (лобовым швом)	—	—	—	Разрыв по основному металлу
Несквозные пробочные соединения (электрозащелки)	3690	2750	3120	Срезывающие напряжения
Сквозные пробочные соединения	2960	2760	2800	Срезывающие напряжения

¹ Данные заимствованы из статьи Г. Николаева, О применении электросварки в строительстве, Бюллетень госуд. диспр. стр-ва № 2, 1930 г.

Многочисленные испытания образцов в лаборатории завода Шкода в Пильзене (Чехо-Словакия) дали следующие результаты ¹:

Тип соединения	Среднее временное сопротивление в кг/см ²	Род напряжения
Двойными накладками (фланговыми швами)	2860	Срезающее напряжение Растягивающее напряжение
Двойными накладками (лобовыми швами)	3230	

Прочность сварных соединений на сжатие, согласно опытам, показала себя выше прочности на растяжение, примерно, на 10—15%.

Согласно Единым нормам строительного проектирования материал сварного шва нормально должен обладать следующими механическими свойствами:

временное сопротивление на растяжение 3000 кг/см²
 » » » срезывание 2400 »
 относительное удлинение (при растяжении) 10%

Сварка, дающая временное сопротивление на растяжение меньше 2500 кг/см² и на срезывание меньше 2000 кг/см², считается неудовлетворительной и не допускается к применению в металлических конструкциях.

При условии наличия в материале сварного шва нормальных механических свойств, изложенных выше, Едиными нормами установлены следующие допускаемые напряжения:

Род напряжения	Допускаемые напряжения в кг/см ²	
	при действии основных нагрузок	при совместном действии всех нагрузок
Сжатие	1000	1200
Растяжение	900	1100
Срезывание	720	870

Примечания: 1. Если временное сопротивление растяжению сварки (наплавленного металла) не удовлетворяет нормальным требованиям (3000 кг/см²), то, во всяком случае, не меньше 2500 кг/см², то допускаемые напряжения на сварку изменяются в отношении $\frac{R_1}{R}$, где $R = 3000$ кг/см², а R_1 — определенное для данной сварки временное сопротивление растяжению нормальных контрольных образцов (см. ГОСТ 2406). 2. Согласно ТУ при расчете соединений, работающих на регулярную вибрационную нагрузку, вызывающую переменную знака усилия, рабочее сечение шва увеличивается на 38%. 3. Согласно ТУ при расчете соединений знакопеременных стержней рабочее сечение шва увеличивается на коэффициент:

$$k = \left(1 + \frac{1}{3} \frac{N_{\min}}{N_{\max}} \right),$$

где $N_{\min}$ и $N_{\max}$ — абсолютные численные значения наименьших и наибольших усилий, моментов или поперечных сил.

¹ Данные заимствованы из статьи F. Faltus Eine vollständig geschweißte Stahlkonstruktion in Prag, «Der Stahlbau» № 13, 1930.

Ввиду того что допускаемые напряжения на сжатие—растяжение сварного шва на 20—25% меньше допускаемых напряжений основного металла, соединения встык при полном напряжении основного металла неэкономичны и не дают возможности целиком использовать материал конструкции. Из этого следует, что соединения встык целесообразны только в нерабочих или в слабо напряженных элементах конструкции (например в днищах и крышах вертикальных резервуаров, в верхних поясах стенок).

§ 11. Основные принципы проектирования сварных конструкций

В дополнение ко всему изложенному в § 9 настоящей главы приведем основные принципы, которыми надлежит руководствоваться при проектировании сварных металлических конструкций:

1. При проектировании сварных металлических конструкций следует считаться со специфическими условиями сварки и избегать подражания конструктивным формам, принятым при клепке; так, например, сечения сплошных балок могут быть всегда составлены только из листов (фиг. 58) без применения угольников в качестве соединительных элементов; характер сечений в стержнях решетчатых систем во многом отличается от сечений, принятых в клепаных конструкциях (применение поясов трубчатого сечения вместо таврового, фиг. 320); в решетчатых системах легкого типа, не требующих особой жесткости, следует, по возможности, избегать фасонки (фиг. 320) и т. д.

2. При проектировании конструкций следует предусмотреть такую последовательность наложения сварных швов, чтобы сварка в своей большей части производилась в мастерских и лишь минимальная часть производилась бы при монтаже. Помимо того положение швов должно быть таким, чтобы при сварке в мастерских был соблюден минимум кантования (переворачивания) конструкции, сама же сварка производилась бы преимущественно нижними швами с возможным минимумом горизонтальных и вертикальных швов (в вертикальной плоскости).

Потолочной сварки, как правило, следует вовсе избегать (что, впрочем, не всегда может быть достигнуто), применяя ее в редких случаях в элементах второстепенного значения.

Вообще учет при сварке всех условий производства, еще в большей мере чем в клепаных конструкциях, является первой обязанностью конструктора.

3. При проектировании надлежит следить за тем, чтобы швы были легко доступны в производстве. Трудно доступные швы, тщательное исполнение коих затруднительно, вовсе не следует вводить в расчет.

На фиг. 61 изображен шов, который вследствие острого угла, образуемого двумя листами и получающегося при этом обрыве дуги, не может быть хорошо проварен. На фиг. 62 — сопряжение листов под тем же углом, но с легкой возможностью провара внешнего V-образного шва; в этом случае впутренний, трудно доступный шов, вовсе не вводится в расчет.

4. Рекомендуются отдавать предпочтение фланговому и лобовым швам перед соединениями встык и с прорезями.

5. При действии на конструкцию динамических нагрузок надлежит разбивать, главным образом, фланговые швы.

Это положение является результатом опытных исследований, показавших, что работа деформации лобовых швов очень незначительна, и эти швы разрываются, почти не деформируясь; у фланговых же швов работа деформации весьма существенна, и швы этого рода перед разрывом очень сильно деформируются.

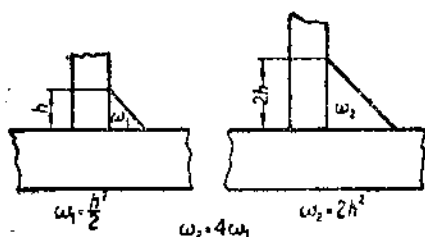


Фиг. 61

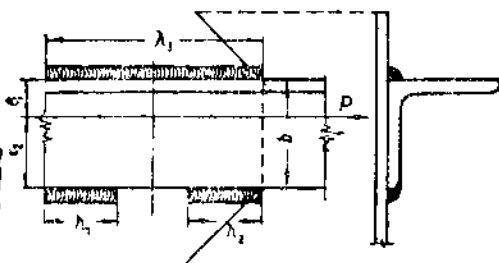


Фиг. 62

По результатам опытов (недостаточно еще углубленных) модуль упругости фланговых швов ниже модуля упругости лобовых швов, т. е. фланговые швы более мягки и более приспособлены к восприятию динамических нагрузок.



Фиг. 63



Фиг. 64

6. Всегда следует отдавать предпочтение тонким швам перед толстыми.

Объясняется это тем (фиг. 63), что прочность шва повышается пропорционально его толщине h , в то время как площадь его поперечного сечения ω и, значит, все связанные с этим расходы (количество наплавленного металла, электроэнергии и времени) повышаются пропорционально квадрату толщины.

Это обстоятельство особенно важно для фланговых швов, временное сопротивление коих, по результатам опытных исследований, падает с увеличением толщины швов, что послужило даже причиной в некоторых странах (например в Польше при проектировании моста через реку Лович) снижения допускаемых напряжений с ростом толщины швов.

7. Из предыдущего пункта проистекает положение, что тонкие непрерывные швы следует предпочитать толстым прерывистым, считаясь к тому же с недостатками прерывистых швов: большая доступность влаги, усложнение работы от непрерывного зажигания и потухания дуги и связанного с этим холостым ходом машины. Однако в целом ряде случаев применение прерывистых швов все же целесообразно: в сплошных балках двутаврового сечения при приварке горизонтальных листов к вертикальному (фиг. 58), где усилия на шов незначительны, при приварке ребер жест-

ности к балкам и во всех случаях нерабочих или слабо напряженных элементов.

8. Ось центров тяжести расчетных сечений сварных швов должна совпадать с осью центра тяжести сечения свариваемых элементов.

Так, например, длина фланговых швов при прикреплении несимметричного профиля (например угольника в фасонке) делается различной с обеих сторон таким образом, чтобы моменты усилий швов на обеих сторонах уравновешивались по оси элемента; при расположении швов по фиг. 64

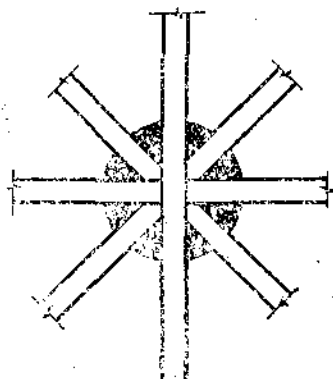
$$\lambda_1 + \lambda_2 = L \frac{e_1}{b}$$



Фиг. 65



Фиг. 66



Фиг. 67

и

$$\lambda_3 = L \frac{e_2}{b},$$

где

$$L = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$$

длина всех швов, соответствующая полному усилению угольника; e_1 и e_2 — расстояния центров тяжести от нейтральной оси; b — ширина полки угольника.

При расчете швов для приварки равнобоких угольников нормального сортамента можно с достаточной точностью принять:

$$\begin{aligned} \lambda_1 + \lambda_2 &= 0,3 L, \\ \lambda_3 &= 0,7 L. \end{aligned}$$

9. В целях устранения дополнительных напряжений в швах в сварных конструкциях рекомендуется избегать эксцентричного прикрепления элементов.

10. Во избежание пережога основного материала следует избегать нагромождения швов в одном месте. На фиг. 65 изображено соединение, имеющее некоторое нагромождение швов в одном месте, допустимое, однако, при тщательной работе. При тонких листах — лучше конструкция, изображенная на фиг. 66. Совершенно недопустима конструкция, изображенная на фиг. 67.

Глава четвертая

Резервуары для хранения нефти и ее продуктов

Нефтехранилища представляют собой наиболее многочисленную группу всех строящихся в настоящее время резервуаров. Полную аналогию с нефтяными резервуарами как в конструктивном, так и в расчетном отношении представляют собой резервуары для хранения разных растительных масел, условно включаемые в настоящем труде в группу нефтяных резервуаров.

Нефтяные резервуары строятся на промыслах, нефтеобрабатывающих заводах, на линиях нефтепроводов, на базисных складах, в портах и на территории промышленных предприятий.

Как мы уже указывали, нефтяные резервуары могут быть подразделены на две основные группы: 1) вертикальные резервуары, 2) горизонтальные резервуары.

Наибольшее распространение имеют вертикальные цилиндрические резервуары с плоскими днищами, по своей геометрической форме создающие возможность достижения очень больших объемов при простоте и экономичности конструкций. Максимальные по объему резервуары, построенные в СССР, имеют емкость 10 500 м³; наибольший объем американских стандартных резервуаров 18 000 м³. Максимальная применяемая у нас емкость горизонтальных резервуаров — 55 м³ — диктуется условиями ж.-д. габарита.

В отношении правил пожарной безопасности нефтехранилища (равным образом и резервуары для других горючих жидкостей) должны отвечать условиям, предусмотренным в гл. XIII и XIV «Правил и норм для промышленного строительства», б. Комиссии по строительству при СТО. В этих условиях указаны все основные моменты пожарной безопасности: ограждение резервуаров, расстояние резервуаров до близлежащих строений, взаимное расстояние между резервуарами и т. д.

Переходим к детальному описанию вертикальных цилиндрических резервуаров для нефтепродуктов.

Вертикальные резервуары

В подавляющем большинстве случаев вертикальные резервуары устанавливаются на уровне земли и только в редких случаях, вызванных особыми условиями (пожарной безопасности или технической эксплуата-

ции), резервуары устанавливаются ниже уровня земли с устройством вокруг них бетонной или кирпичной защитной стенки.

Надземные резервуары в большинстве случаев устанавливаются непосредственно на грунте с насыпкой слоя песка в 200—250 мм (фиг. 140). Площадь земли должна быть тщательно выравнена посредством подсыпки или выемки и проверена ватерпасом; всякая растительность должна быть при этом удалена. Следует отдавать предпочтение ровным горизонтальным площадкам, не требующим насыпки грунта, ибо неравномерная осадка последнего весьма болезненно отражается на прочности резервуара.

В случае болотистой местности грунт должен быть укреплен посредством свай. При слабом грунте и большом давлении на стенки необходимо под нижним опорным угольником резервуара устраивать кольцевой бетонный или кирпичный фундамент (фиг. 88).

Однако во всех случаях, где это возможно, следует избегать установки резервуаров на болотистом или слабом грунте, требующем забивки свай или специальных фундаментов, ограничиваясь расчисткой площадки и подсыпкой песком.

§ 1. Общая теория тонкостенных сосудов и приложение ее к расчету вертикальных цилиндрических резервуаров

Излагаемые нами стальные резервуары по всем признакам относятся к так называемым тонкостенным сосудам, т. е. таким сосудам, у которых толщина стенок весьма мала по сравнению с их размерами и радиусом кривизны наружной поверхности. При расчете этих сосудов с так называемыми жесткими стенками, не сопротивляющимися изгибу, предполагается равномерное распределение напряжений по всей толщине стенки.

В общем виде задача ставится для сосуда, имеющего форму тела вращения с вертикальной осью, стенки которого напряжены от давления налитой в него жидкости. Зависимость между напряжениями стенок, их толщиной, формой (радиусами кривизны) и интенсивностью давления жидкости определяется общими законами сопротивления материалов¹.

Выделяем из стенок сосуда бесконечно-малый элемент, ограниченный двумя меридиональными сечениями и двумя плоскостями, перпендикулярными к меридиану (параллельными кругами) — фиг. 68.

Вводим следующие обозначения:

ds_1 — длина стороны выделенного элемента в направлении параллельного круга,

ds_2 — длина стороны того же элемента в направлении меридиана,

r_1 — радиус кривизны стенки, соответствующий сечению параллельного круга,

r_2 — радиус кривизны стенки, соответствующий меридиональному сечению,

k_1 — напряжение по граням элемента, соответствующим меридиональному сечению (направление k_1 совпадает с направлением касательной к параллельному кругу),

¹ См. С. П. Тимошенко, Курс сопротивления материалов, ГНТИ, 1932.

- k_2 — напряжение по граням элемента, соответствующим сечению параллельного круга (направление k_2 совпадает с направлением касательной к меридиану),
 δ — толщина стенки сосуда,
 p — интенсивность давления, т. е. давление, приходящееся на единицу поверхности сосуда в месте выделенного элемента.

На основании принятых обозначений усилия, приложенные к боковым граням элемента, равны $k_1 \delta ds_2$ и $k_2 \delta ds_1$.

Усилие от давления жидкости, приложенное к поверхности элемента, равно $p ds_1 ds_2$.

Условие равновесия выделенного элемента (пренебрегая его весом) мы получим, проектируя все силы на направление действия давления жидкости p , т. е. на направление усилия:

$$\begin{aligned}
 & 2 k_2 \delta ds_1 \frac{ds_2}{2 \rho_2} + \\
 & + 2 k_1 \delta ds_2 \frac{ds_1}{2 \rho_1} = \\
 & = p ds_1 ds_2
 \end{aligned}$$

Синусы бесконечно-малых углов α и β заменены углами

$$\frac{ds_1}{2 \rho_1} \text{ и } \frac{ds_2}{2 \rho_2},$$

откуда имеем:

$$\frac{k_1}{\rho_1} + \frac{k_2}{\rho_2} = \frac{p}{\delta}. \quad (1)$$

В случае резервуара, представляющего собой круговой цилиндр с радиусом основания R , с вертикальной осью (фиг. 69) имеем:

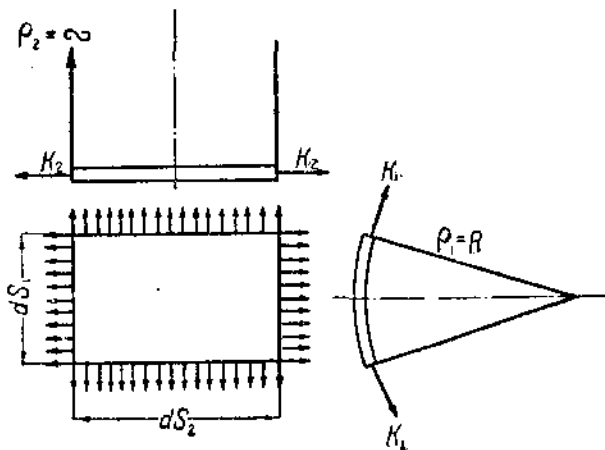
$$\begin{aligned}
 \rho_1 &= R \\
 \rho_2 &= \infty,
 \end{aligned}$$

откуда:

$$\frac{k_1}{R} = \frac{p}{\delta}$$

или

$$k_1 = \frac{pR}{\delta}. \quad (1)$$



Фиг. 69

Значение $k_2 = 0$, что очевидно из следующих соображений (фиг. 69):

Проектируем все силы в направлении действия напряжений k_z , тогда:

$$k_z \cdot ds_1 = 0$$

или

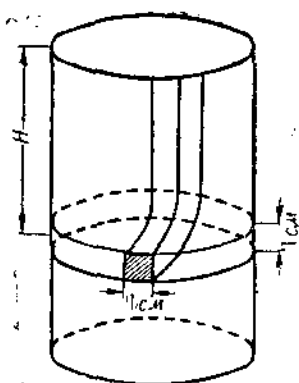
$$k_z = 0.$$

Таким образом в круговом цилиндрическом сосуде с вертикальной осью напряжения, соответствующие меридиональным сечениям по образующей цилиндра (направленные по касательным к параллельным кругам), определяются по формуле: $k_1 = \frac{pR}{\delta}$, где p — давление жидкости, R — радиус основания цилиндрического сосуда и δ — толщина стенки.

Напряжения же, соответствующие сечениям параллельных кругов (направленные по образующей цилиндра) $k_2 = 0$.

Отбрасывая индекс у k_1 , получим выражение для напряжений по сечениям вдоль образующей цилиндрического сосуда:

$$k = \frac{pR}{\delta}. \quad (2)$$



Фиг. 70

Давление p жидкости на стенки резервуара не является постоянной величиной, а зависит от расстояния (глубины) рассматриваемого элемента поверхности резервуара от уровня жидкости (верха резервуара). Таким образом в пределах одной и той же глубины давление на стенки резервуара постоянное.

Если рассмотреть кольцевую полосу, отсекаемую на цилиндрической поверхности двумя параллельными кругами, расположенными на взаимном расстоянии друг от друга в 1 см и находящимися на глубине H от уровня жидкости (фиг. 70), то давление p на 1 см² стенки резервуара в пределах этой полосы $p = H\gamma$, где γ — вес одного см³ жидкости, налитой в резервуар.

Подставляя значение p в ур-ние (2), получим:

$$k = \frac{HR\gamma}{\delta}. \quad (3)$$

Последняя формула применима для вертикальных цилиндрических сосудов, стенки которых не ослаблены заклепочными отверстиями (литые сосуды, сваренные резервуары). В клепаных резервуарах с к. п. д. шва φ (§ 6, гл. III) последнее уравнение принимает вид:

$$k = \frac{HR\gamma}{\varphi\delta}. \quad (4)$$

Величина $HR\gamma$ есть не что иное, как растягивающее усилие на 1 пог. см длины вертикального шва резервуара, которая выше была обозначена через P (см. ур-ния 1, 2, 3, § 6, гл. III).

Последнее уравнение является основным при расчете вертикальных цилиндрических резервуаров.

Плоские днища вертикальных цилиндрических резервуаров располагаются непосредственно на земле и не подвержены никаким напряжениям от давления жидкости.

§ 2. Определение основных размеров вертикальных цилиндрических резервуаров с плоскими днищами

При проектировании вертикальных цилиндрических резервуаров в первую очередь надлежит определить его основные размеры (диаметра и высоты), удовлетворяющие условию его наименьшего веса при заданном объеме. Вопрос этот был разрешен акад. В. Г. Шуховым еще в 1883 г. (см. его статью «Механические сооружения нефтяной промышленности», журн. «Инженер», т. III, кн. 3, 1883 и «Расчет нефтяных резервуаров», журн. «Нефтяное хозяйство» № 10, 1925).

Главным расчетным элементом вертикальных цилиндрических резервуаров являются стенки (бона), так как днища, покоящиеся на песчаном основании, не подвергаются напряжениям и толщина их (4—6 мм) диктуется условиями возможности чеканки кромок и сопротивлением против ржавления и действия почвенных солей; покрытия же резервуаров рассчитываются на общих основаниях от действия снеговой и ветровой нагрузок (см. § 5 настоящей главы).

Кроме того необходимо отметить, что перенные пояса стенок резервуара напряжены весьма незначительно, и толщина их, аналогично днищам, определяется также конструктивными соображениями и условиями чеканки; наши ТУ предусматривают минимальную толщину стенок — 4 мм.

Таким образом весь материал, употребляемый на сооружение резервуара, делится: 1) на материал, сопротивляющийся усилиям, вызываемым налитой жидкостью; 2) на материал, не сопротивляющийся этим усилиям и не зависящий от них, но составляющий необходимый элемент для осуществления всего сооружения¹⁾.

На фиг. 71 изображен схематический разрез резервуара вертикальной плоскостью, проходящей через его ось.

Обозначения:

V — объем резервуара в см^3 ,

H — высота резервуара в см ,

R — радиус основания резервуара в см ,

$h = a_1 a_2, a_2 a_3, \dots, a_{n-1} a_n$ — высота одного пояса резервуара в см (при общем количестве n — поясов),

δ — толщина нижнего пояса $a_{n-1} a_n$ в см ,

δ_1 — толщина верхних нерасчетных поясов в см ,

H_1 — часть высоты резервуара с постоянной толщиной стенок δ_1 в см ,

e — разность в толщине железа двух последующих поясов в см ,

δ_m — толщина железа в см , эквивалентная весу днища на кв. единицу его основания,

δ_n — толщина железа в см , эквивалентная весу покрытия на кв. единицу горизонтальной проекции (настил крыши, стропила и пр.),

λ — суммарная толщина, равная $\delta_m + \delta_n$, эквивалентная весу днища и покрытия, в см ,

T — допускаемое напряжение железа в $\text{кг}/\text{см}^2$),

¹⁾ Дальнейший текст этого параграфа написан В. Г. Шуховым.

²⁾ Принимаемое в соответствии с коэффициентом полезного действия и конструкцией швел.

γ — вес одного см³ жидкости, наливаемой в резервуар в кг/см³,

a — коэффициент, равный $\frac{T}{\gamma}$ в см,

Q — общий объем железа, входящий в состав резервуара в см³.

При полном налив резервуара теоретическая толщина его стенок графически выразится прямой aa_1 (фиг. 71) и наибольшее значение этой толщины будет:

$$\delta = \frac{HR\gamma}{T} = \frac{HR}{a}.$$

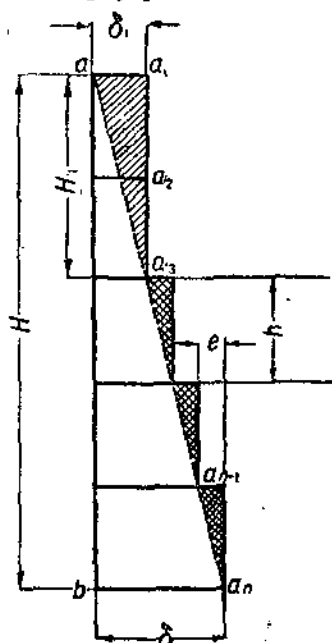
Резервуар должен быть построен таким образом, чтобы нанесенная графически толщина его поясов везде перекрывала прямую aa_1 . При этом разность в толщине двух последующих поясов изменяется по закону:

$$e = \frac{Rh\gamma}{T} = \frac{Rh}{a}.$$

В зависимости от емкости резервуара расчетная величина δ может быть либо больше, либо меньше δ_1 ; в соответствии с этим при определении наиболее выгодных размеров различаются два рода резервуаров:

1. Резервуары с переменной толщиной стенок, т. е. резервуары больших емкостей, у которых $\delta > \delta_1$.

2. Резервуары с постоянной толщиной стенок, т. е. резервуары малых емкостей, у которых $\delta < \delta_1$ (практически δ принимается равным δ_1).



Фиг. 71

Резервуары с переменной толщиной стенок

Общий объем железа Q , входящий в состав резервуара, может быть разделен на следующие основные части (фиг. 71):

1) объем железа дна и крышки:

$$q_1 = \pi R^2 e;$$

2) объем железа, необходимого для сопротивления усилиям, вызываемым налитой жидкостью, или объем напряженного железа (на фиг. 71 соответствует площади $\Delta aa_1 b$):

$$q_2 = 2\pi RHR \cdot \frac{\delta}{2} = \pi RH\delta;$$

3) объем железа бесполезного для сопротивления в пределах высоты H_1 (на фиг. 71 соответствует заштрихованному $\Delta a_1 aa_2$)

$$q_3 = \pi RH_1 \delta_1;$$

4) объем избыточного железа в пределах высоты $(H - H_1)$ (на фиг. 71 соответствует площади треугольников, заштрихованных в клетку).

Объем избыточного железа в каждом поясе, где $\delta > \delta_1$, равен $\pi R h e$; при общем количестве таких поясов $\frac{H - H_1}{h}$ полный объем избыточного железа:

$$q_4 = \pi R h e \frac{H - H_1}{h} = \pi R e (H - H_1).$$

Но так как

$$e = \frac{R h}{a},$$

то

$$q_4 = \pi R^2 \frac{h}{a} (H - H_1).$$

Таким образом полный объем железа, идущего на устройство резервуара, будет:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = \pi R^2 h + \pi R H \delta + \pi R H_1 \delta_1 + \frac{\pi R^2 h}{a} H - \frac{\pi R^2 h}{a} H_1. \quad (A)$$

Подставляя в это уравнение $\delta = \frac{R H}{a}$ и $H_1 = \frac{\delta_1 a}{R}$, получим:

$$Q = \pi R^2 h + \frac{\pi R^2 H^2}{a} + \pi \delta_1^2 a + \frac{\pi R^2 h}{a} H - \pi R h \delta_1.$$

Так как $V = \pi R^2 H$, то $R = \sqrt{\frac{V}{\pi H}}$.

Подставляя это значение R в последнее уравнение для Q , получим:

$$Q = \frac{V h}{H} + \frac{V H}{a} + \pi \delta_1^2 a + \frac{V h}{a} - \delta_1 h \sqrt{\frac{V}{H}}.$$

В резервуарах больших емкостей последний член выражения для Q весьма незначителен по сравнению с остальными и без ощутительного влияния для результата может быть отброшен.

Выражение для Q принимает вид:

$$Q = \frac{V h}{H} + V \frac{H}{a} + \pi \delta_1^2 a + V \frac{h}{a}. \quad (B)$$

Для отыскания значения H , при котором Q будет иметь минимальное значение, необходимо приравнять первую производную Q по H нулю

$$\frac{dQ}{dH} = V \left(-\frac{1}{H^2} + \frac{1}{a} \right) = 0,$$

откуда

$$H = \sqrt{\lambda a}. \quad (1)$$

Подставляя это значение H в последнее выражение для Q (ур-ние (B)),

получим минимальный объем железа, необходимый для сооружения резервуара:

$$Q_{\min} = V \left[2\sqrt{\frac{\lambda}{a} + \frac{h}{a}} \right] + \pi \delta_1^2 a. \quad (2)$$

Из ур-ния (1) видно, что при постоянном значении λ и a величина H остается постоянной; практически это имеет место в резервуарах больших емкостей (свыше 4000 м³), где (по конструктивным соображениям) днища имеют толщину 6 мм и вес покрытия остается почти постоянным на 1 м² его горизонтальной проекции; эти резервуары имеют почти одинаковую высоту (около 11,4 м) и состояются по высоте из восьми поясов.

Ур-ние (2) показывает, что один резервуар емкостью V всегда выгоднее по весу, чем равновеликая ему по емкости группа меньших резервуаров: объясняется это тем, что в каждом резервуаре, независимо от объема, прибавляется одно и то же количество железа, бесполезного для сопротивления, выражающегося величиной $\pi \delta_1^2 a$.

Обращаясь к ур-нию $\frac{dQ}{dH} = 0$, имеем из него равенство:

$$V \frac{\lambda}{H} = \frac{VH}{a}. \quad (3)$$

Так как по ур-нию (В) величина $V \frac{\lambda}{H}$ представляет собой количество железа для дни и покрытия, а $V \frac{H}{a}$ количество железа в стенках, необходимое для восприятия разрывающих усилий, то ф-ла (3) показывает:

Резервуар с переменной толщиной стенок имеет наименьший вес при условии, что объем всего железа дни и покрытия (а следовательно, и его вес) равен объему (а следовательно, и весу) всего железа в стенках, необходимого для восприятия растягивающих усилий в поясах.

Полученная по ф-ле (1) теоретическая высота резервуара округляется до размера, кратного ширине стандартных листов (с соблюдением условия минимального количества обрезков при раскрое).

Посмотрим, какое влияние на вес резервуара имеет то или иное отклонение от теоретического значения его высоты.

Допустим, что при определении действительной высоты резервуара приходится отступить от теоретической высоты $H = \sqrt{\lambda a}$, заменяя ее высотой

$$H' = \eta \sqrt{\lambda a},$$

где η — коэффициент, больший или меньший единицы.

Согласно ур-нию (2) объем железа, необходимого для постройки резервуара при высоте последнего $H' = \eta \sqrt{\lambda a}$:

$$Q = 2V \sqrt{\frac{\lambda}{a} + \frac{h}{a}} + V \frac{H'}{a} + \pi \delta_1^2 a.$$

Подставляя в ур-ние (3) значение высоты $H' = \eta \sqrt{\lambda a}$, получим объем железа, необходимый для постройки резервуара при этой высоте:

$$Q' = V \sqrt{\frac{\lambda}{a}} \left(\eta + \frac{1}{\eta} \right) + V \frac{h}{a} + \pi \delta_1^2 a.$$

Беря отношение:

$$\varepsilon = \frac{Q'}{Q} = \frac{V \sqrt{\frac{\lambda}{a}} \left(\eta + \frac{1}{\eta} \right) + V \frac{h}{a} + \pi \delta_1^2 a}{2 V \sqrt{\frac{\lambda}{a}} + V \frac{h}{a} + \pi \delta_1^2 a}$$

отбрасывая второй и третий члены в числителе и знаменателе дроби (то незначительно отражается на значении ε), получим:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left(\eta + \frac{1}{\eta} \right). \quad (4)$$

Рассмотрим значение ε на частных примерах:

при $\eta = 0,90$	$\varepsilon = 1,0055,$
» $\eta = 0,95$	$\varepsilon = 1,0013,$
» $\eta = 1,05$	$\varepsilon = 1,0012,$
» $\eta = 1,10$	$\varepsilon = 1,0045.$

Таким образом при отклонении высоты резервуара от наиболее выгоднейшего теоретического значения изменения веса резервуара весьма незначительны; даже при отклонении высоты на 10% в ту или другую сторону вес резервуара увеличивается всего на 0,5%, (величина при конструировании почти неувязная).

Последнее обстоятельство со всей очевидностью показывает, что переход от теоретического значения высоты H к ее действительному значению (в соответствии с шириной стандартных листов) практически не отражается на экономичности конструкции.

Резервуары с постоянной толщиной стенок

Подставляя в ур-ние (A) $\delta = \delta_1 = \text{const}$ и $H = H_1$, получим:

$$Q = \pi R^2 \lambda + 2\pi R H \delta_1.$$

Это уравнение может быть написано и непосредственно, так как первый член выражения для Q представляет собой объем железа, идущий на дно и покрытие, а второй — объем железа, идущий на стенки.

Подставляя в последнее уравнение $R = \sqrt{\frac{V}{\pi H}}$, получим:

$$Q = V \frac{\lambda}{H} + 2\delta_1 \sqrt{V \pi H}. \quad (C)$$

Приравнявая первую производную Q по H нулю, получим:

$$\frac{dQ}{dH} = -V \frac{\lambda}{H^2} + \delta_1 \sqrt{\pi V} \frac{1}{\sqrt{H}} = 0;$$

откуда:

$$H = \sqrt[3]{\frac{V\lambda^2}{\pi\delta_1^2}}. \quad (5)$$

Подставляя последнее значение H в ур-ние (С), получим минимальный объем железа, необходимого для сооружения резервуара:

$$Q_{\min} = 3\sqrt[3]{\pi\delta_1^2\lambda V^2}. \quad (6)$$

Подставляя в выражение $R = \sqrt{\frac{V}{\pi H}}$ значение H из ур-ния (5), получим:

$$R = \sqrt[3]{\frac{V\lambda}{\pi\delta_1}};$$

откуда

$$\frac{H}{R} = \frac{\lambda}{\delta_1} \quad (7)$$

Определяя из последнего уравнения, а также из уравнения $\delta_1 = \frac{RH}{\alpha}$ значения H и R и подставляя их в выражение объема $V = \pi R^2 H$, получим предельное значение объема резервуаров, для которых применима ф-ла (5):

$$V = \pi\delta_1^3 \sqrt[3]{\frac{\alpha^3}{\lambda}}. \quad (8)$$

Выше этого значения V для определения высоты резервуара надлежит пользоваться ур-нием (1).

Из ур-ния $\frac{dQ}{dH} = 0$ имеем:

$$V \frac{\lambda}{H^2} = \delta_1 \sqrt{\pi V} \cdot \frac{1}{\sqrt{H}};$$

или

$$\frac{V\lambda}{H} = \delta_1 \sqrt{\pi V H}. \quad (9)$$

Согласно ур-нию (С) величина $\frac{V\lambda}{H}$ представляет собой количество железа, потребного для дна и покрытия, а $\delta_1 \sqrt{\pi V H}$ — половину количества железа в стенках резервуара; на основании этого можно сделать следующий вывод: резервуар с постоянной толщиной стенок имеет наименьший вес при условии, что объем всего железа дна и покрытия (а следовательно, и его вес) вдвое меньше объема (а следовательно, и веса) всего железа стенок.

Выведем влияние отклонения высоты от ее теоретического значения на вес резервуаров с постоянной толщиной стенок.

Согласно ур-нию (3) объем железа, необходимого для постройки резервуара, при высоте последнего $H = \sqrt[3]{\frac{V\lambda}{\pi\delta_1^2}}$, составляет:

$$Q = 3\sqrt[3]{\pi\delta_1^2\lambda V^2}.$$

Допустим, что при определении действительной высоты резервуара приходится отступить от ее теоретического значения, заменяя ее высотой $H' = \eta \sqrt{\frac{V^2}{\pi \delta_1^2}}$.

Соответствующий этой высоте объем железа, необходимого для постройки резервуара, получим путем замены в ур-нии (С) величины H через H' :

$$Q' = \sqrt[3]{\pi \delta_1^2 V^2} \left(\frac{1}{\eta} + 2\sqrt{\eta} \right).$$

Выводя соотношение $\epsilon = \frac{Q'}{Q}$, получим:

$$\epsilon = \frac{Q'}{Q} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{\eta} + 2\sqrt{\eta} \right). \quad (10)$$

Рассмотрим значение ϵ на частных примерах:

при $\eta = 0,90$	$\epsilon = 1,0033.$
> $\eta = 0,95$	$\epsilon = 1,0006,$
> $\eta = 1,05$	$\epsilon = 1,0006,$
> $\eta = 1,10$	$\epsilon = 1,0033.$

Из значений ϵ видно, что в резервуарах с постоянной толщиной стенок отклонения высоты от ее наивыгоднейшего теоретического значения вызывают еще меньшее изменение веса, чем в резервуарах с переменной толщиной стенок; даже при отклонении высоты на 10%, в ту или иную сторону вес резервуара увеличивается всего на 0,33%.

§ 3. Расчет вертикальных цилиндрических резервуаров с плоскими днищами

Общие соображения

Мы уже указывали в § 1 и 2 настоящей главы, что основным расчетным элементом вертикальных цилиндрических резервуаров, сопротивляющихся давлению жидкости, являются стенки.

Останавливаясь подробно на расчете стенок (толщина их колеблется от 4 до 18 мм в зависимости от емкости), укажем еще раз на то, что под давлением жидкости напрягаются только вертикальные швы (по образующей цилиндра), горизонтальные же (кольцевые) швы испытывают лишь незначительные напряжения только от веса вышележащих конструкций и веса снега. Размещение заклепок по этим швам диктуется исключительно конструктивными соображениями и условиями плотности; швы эти, как правило, делаются однорядными внахлестку с взаимным расстоянием между заклепками, равным тройному диаметру последних.

Вертикальные швы стенок резервуара являются, таким образом, основой их расчета; к детальному их рассмотрению мы и переходим.

В последующем расчет резервуаров будет показан нами по двум методам: по так называемому общему (обычному) способу и по способу применения так называемых стандартных таблиц.

Общий метод расчета вертикальных резервуаров

Как мы уже указывали в § 1 настоящей главы, толщина стенок вертикального цилиндрического резервуара рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{HR\gamma}{\varphi k} \text{ или } HR\gamma = \varphi \delta k,$$

где H — глубина над уровнем жидкости рассчитываемого пояса резервуара в см,

R — радиус резервуара в см,

γ — вес 1 см³ жидкости, наливасмой в резервуар, в кг/см³,

k — допускаемое напряжение железа на растяжение, в кг/см²,

φ — к. п. д. вертикального шва рассматриваемого пояса резервуара.

Величина $HR\gamma$ представляет собой растягивающее усилие на 1 пог. см длины вертикального шва рассматриваемого пояса в кг/см. Эта величина в теории швов (ур-ния (1), (2), (3), § 6, гл. III) была обозначена через P .

Вводя значение $P = HR\gamma$ в ур-ния (1), (2), (3), § 6, гл. III, пишем следующие три уравнения, являющиеся необходимыми и достаточными для расчета стенок вертикальных цилиндрических резервуаров:

$$HR\gamma = \varphi \delta k; \quad (1)$$

$$HR\gamma t = N \frac{\pi d_0^2}{4} k_{cp} = N \omega k_{cp} = N S_{cp}; \quad (2a) \quad \left. \begin{array}{l} \\ (2b) \end{array} \right\} (2)$$

$$HR\gamma t = n \delta d_0 k_{cm} = n S_{cm}; \quad (26) \quad (3)$$

$$d = \sqrt{\delta d_0 - a}.$$

Буквенные обозначения те же, что в гл. III. Для швов внахлестку $a = 0,4$ см, для швов впритык $a = 0,6$ см, для швов L_2 , L_3 , B_2 — значение расчетного шага t , для швов B_3 и B_4 t заменяется через T .

Из двух ур-ний (2a) и (2b) берется то, которое дает наименьшее значение шага t (соответственно T).

Значения величин N , n , φ для разных типов швов приведены в следующей таблице:

Величины	Швы внахлестку		Швы впритык		
	двухрядные L_2	трехрядные L_3	двухрядные с равными накладками B_2	трехрядные с неравными накладками B_3	четырёхрядные с неравными накладками B_4
N	2	3	4	9	15
n	2	3	2	5	9
φ	$\frac{t-d_0}{t} \approx 0,70$	$\frac{t-d_0}{t} \approx 0,75$	$\frac{t-d_0}{t} \approx 0,75$	$\frac{P(T-2d_0)}{PT-\omega k_{cp}} \approx 0,85$	$\frac{P(T-2d_0)}{PT-\omega k_{cp}} \approx 0,90$

Примечание. Выражение к. п. д. для швов B_3 и B_4 : $\varphi = \frac{P(T-2d_0)}{PT-\omega k_{cp}}$ принято для частного случая при максимальном напряжении листов по второму шву (§ 6, гл. III).

Чем выше к. п. д. выбранного для данного пояса шва, тем меньше толщина железа этого пояса. Подробно вопрос об экономичности разных типов швов рассмотрен в конце настоящего параграфа.

Учитывая частичное защемление нижнего пояса резервуара у опорного кольца и всех промежуточных поясов между собой, напряжение каждого пояса условно рассчитывается на уровне, расположенном на 300 мм выше его нижнего кольцевого шва.

В целях унификации расчета резервуары принято рассчитывать на налив водой с увеличением всех допускаемых напряжений в отношении $\frac{1}{\gamma}$, где γ — удельный вес жидкости, наливаемой в резервуар. При максимальном удельном весе тяжелых нефтепродуктов $\approx 0,9$ все допускаемые напряжения умножаются, таким образом, на $\frac{1}{0,9} = 1,12$.

Как мы уже указывали выше, в своей массе резервуары проектируются из СтЗ_{полн} или Ст2_{полн}.

Допускаемые напряжения листового железа и заклепок согласно Единых норм (налив нефтепродуктами) и при унификации расчета представлены на табл. 1 настоящего параграфа.

Независимо от расчета минимальная толщина железа, применяемая для резервуаров, 4 мм (условие возможности чеканки кромок). Таким образом все резервуары малых емкостей и верхние (мало напряженные) пояса резервуаров больших емкостей имеют стенки толщиной 4 мм. В этом отношении практика нашего резервуаростроения преследует большую экономию железа, чем за границей; минимальная толщина листов для резервуаров в Германии — 5 мм, в Америке — 6,35 мм ($1/4"$).

Выведем теоретически то максимальное значение $P = HK\gamma$, в пределах которого при сделанных выше предпосылках резервуары не подлежат расчету; резервуары этого рода называются резервуарами с одинаковой толщиной стенок. Основное уравнение для расчета стенок резервуара:

$$P = HK\gamma = \varphi dk.$$

При принятых для резервуаров с одинаковой толщиной стенок (4 мм) вредных швах внахлестку с к. п. д., равным 0,74, последнее уравнение принимает вид:

$$P = HK\gamma = 0,74 \cdot 0,4 \cdot k = 0,296 k.$$

При расчете резервуара на налив нефтепродуктами с допускаемым напряжением железа $k = 1200 \text{ кг/см}^2$:

$$P = 0,296 \cdot 1200 = 350 \text{ кг/см}.$$

При условном унифицированном расчете резервуара на налив водой допускаемым напряжением $k = \frac{1200}{0,9} = 1350 \text{ кг/см}^2$

$$P = 0,296 \cdot 1350 = 400 \text{ кг/см}.$$

Таким образом стенки нефтяных резервуаров, проектируемых из СтЗ_{полн} Ст2_{полн} при условном расчете на

Резервирование 4685 кв. м по объекту не имеет смысла H = 1997.

Резервация отчисления 4685 руб. 0-22908,

10

1

References

10

Расчет нефтяного резервуара емкостью 4885 м³

Расчет ведется условно на налив резервуара водой $\gamma = 0,001 \text{ кг/см}^3$

$$H = 11,397 \text{ мм}$$

$$D = 22,906 \text{ мм}$$

№ пояса	Теоретическая высота пояса мм	Расчетная высота пояса H мм	$P = H \gamma$ кг/см	Тип шва	Толщина пояса мм	З а к л е п к и			$P \gamma$ кг	Срезывание заклепок			Смятие заклепок		Напряжение листов		К. п. л. $\varphi = k_0$	
						Диаметр заклепок мм	Диаметр от-нопей мм	Расстояние мм		$\omega = \frac{\pi d_0^2}{4}$ см ²	Число срезов N	$k_{cp} = \frac{\pi \gamma}{P \gamma}$ кг/см ²	d_0 см ²	Число заклепок n	$k_{cm} = \frac{\pi d_0^2}{P \gamma}$ кг/см ²	$S_{cp} = \frac{P}{N}$ кг/см		по шву k кг/см ²
VIII	1363	111,3	127	L ₂	4	9,5	10	37,97	482	0,7854	2	306	0,4	2	1	431	317	0,734
VII	1359	247,2	283	L ₂	4	9,5	10	37,97	1074	0,7854	2	684	0,4	2	1	931	707	0,734
VI	1555	382,7	438	L ₂	5	11,5	12	43,75	1916	1,1309	2	847	0,6	2	1	1208	876	0,724
V	1452	527,9	605	B ₁	6	11,5	12	48,89	2959	1,1319	4	653	0,72	2	2,054	1336	1008	0,754
IV	1449	672,8	771	B ₁	8	13,5	14	56,20	4333	1,5393	4	703	1,12	2	1,934	1283	963	0,749
III	1445	817,3	936	B ₃	8	13,5	14	117,30	10979	1,5393	9	792	1,12	5	1,958	1219	1365	0,956
II	1435	960,8	1100	B ₁	9	16,5	17	233,10	25641	2,2638	15	752	1,53	9	1,861	1709	1386	0,913
I	1429	1109,7	1271	B ₃	11	19,0	20	171,86	21843	3,1115	9	771	2,20	5	1,985	2427	1339	0,862

Примечание. 1) 1363 + 50 — 300 = 1113 мм; 50 мм — риска верхнего кольца; 300 мм — условное уменьшение расчетной высоты.

2) 9608 + 1429 + 80 = 11097 мм; 80 мм — риска нижнего кольца.

3) Максимальное напряжение по второму ряду заклепок.

в вертикальных швах каждого пояса резервуара. Все промежуточные расчеты (предварительный подбор швов по способу, изложенному в § 6, гл. III) интереса не представляют и здесь опускаются.

Типы швов, диаметры заклепок и их шаг взяты согласно рабочих чертежей стенок резервуара (фиг. 82, 83).

Как и в предыдущем примере, односрезные заклепки проверяются только на срезывание (IV, VII и VIII пояса).

Для наглядности суждений об экономичности выбранных типов швов в расчете выведены к. п. д. последних.

Весь расчет проведен в четкой табличной форме; напряжения k , $k_{ср}$, $k_{см}$ рассчитаны по ф-лам (1), (2а), (2б) настоящего параграфа.

Заканчивая на этом общий способ расчета вертикальных цилиндрических резервуаров, переходим к описанию второго метода — по способу применения стандартной таблицы.

Расчет вертикальных резервуаров по стандартной таблице

Общие предпосылки. Изложенный выше способ расчета стенок и швов вертикальных цилиндрических резервуаров основан на определении величин d_0 , δ и t по заданному значению $P = HR\gamma$ и допускаемым по нормам напряжениям k , $k_{ср}$ и $k_{см}$.

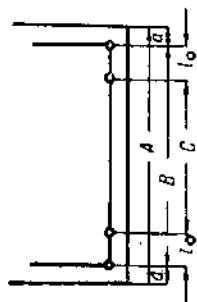
Такой расчет, как мы уже выше видели, требует большого расхода времени; еще больше времени уходит на вычерчивание швов и на увязку полученных теоретических значений t (соответственно T) с их действительными конструктивными значениями, в соответствии с размерами (шириной) листов.

Совершенно ясно, что вместо всего изложенного, задавшись значениями k , $k_{ср}$, $k_{см}$, можно, пользуясь ф-лами (1), (2), (3) для разных типов швов, при разной толщине листов, найти соответствующие значения d_0 , P и t (соответственно T). Практически при заданной толщине δ листов по ф-ле (3) определяется d_0 , значения P и t (T) определяются из ур-ния (1) и одного из ур-ний (2). Задача сводится, таким образом, к решению двух ур-ний (1) и (2) с неизвестными P и t при заданных значениях δ , d_0 , k , $k_{ср}$, $k_{см}$.

Найдя теоретические значения P и t и предопределив размеры поясных листов (их ширину), а также все конструктивные детали (кромки кольцевых швов и концевые швы заклепок) (фиг. 74) и фиксируя действительные конструктивные значения t , можно получить окончательные (практические) значения величины $P = HR\gamma$.

Величина t берется близкой к ее теоретическому значению таким образом, чтобы она укладывалась целое число раз в остаточной ширине C листа по определенному закону в зависимости от типа шва (фиг. 74 и примечание 5 к табл. 16); k имеет при этом значение допускаемого напряжения на растяжение, значения $k_{ср}$ и $k_{см}$ должны быть дополнительно рассчитаны по ф-лам (2а) и (2б).

Остается еще расположить все полученные результаты по степени увеличения величины $P = HR\gamma$, после чего получится таблица, содержащая все расчетные и конструктивные данные для определения конструкции поясов вертикальных цилиндрических резервуаров (табл. 16).



Фиг. 74

Изложив вкратце всю принципиальную сторону стандартной таблицы для расчета вклепанных вертикальных цилиндрических резервуаров, переходим к детальному описанию всей методологии составления таблицы со всеми промежуточными расчетами, представленными также в табличной форме. Весь расчет проведен для чаще всего имеющих место в практике условий: листы из СтЗ_{лон}, Ст2_{лон}, с пробивкой дыр для заклепочных отверстий (без последующей рассверловки).

Естественно, что аналогичные таблицы можно составить для железа любого качества при любых условиях обработки (например СтЗ при сверденых заклепочных отверстиях).

В табл. 1—6 сведены основные технические условия, положенные в основу излагаемого метода расчета: данные о допускаемых напряжениях, размерах заклепок, разбивке последних и т. д.

Пояснения к таблицам для расчета швов внахлестку двух- и трехрядных L_2 , L_3 (табл. 7, 8, 9 на стр. 84—86).

Решаем попеременно ур-ния (1) и (2) настоящего параграфа; ввиду того что при нахлестке всегда $S_{сж} < S_{ср}$ (табл. 3), достаточно решить ур-ния (1) и (2). При этом $\varphi = \frac{t - d_0}{t}$:

$$\text{для швов } L_2 \dots n = N = 2$$

$$, \quad , \quad L_3 \dots n = N = 3$$

$$t = \frac{\pi S_{ср}}{k \delta} + d_0; \quad (A)$$

$$P = \frac{\pi S_{ср}}{t}. \quad (B)$$

Табл. 7 дает теоретические значения величин t и P по ф-лам (A) и (B) для разных значений δ от 4 до 12 мм безотносительно к ширине листов. В этой таблице k и $k_{ср}$ имеют предельные значения допускаемых напряжений согласно норм (табл. 1).

Вычислив по таблице теоретические значения P и t и задавшись шириной листов, переходим к практическим (конструктивным) значениям; при этом должно быть соблюдено условие о максимальном значении шага (9 δ), в соответствии с чем производится иногда искусственное уменьшение шага (швы L_2 при $\delta = 4-8$ мм).

После определения практического значения t вычисляются соответствующие ему значения $k_{ср}$ и P по формулам:

$$k_{ср} = \frac{k \delta (t - d_0)}{\pi \omega}; \quad (C)$$

$$P = \frac{k \delta (t - d_0)}{t}. \quad (D)$$

Табл. 8 содержит расчет окончательных значений величин $k_{ср}$ и P по ф-лам (C) и (D). В этой же таблице выведены значения к. п. д. φ .

Табл. 9 не имеет самостоятельного значения, служит лишь для про-

верки табл. 8 и содержит проверку напряжений для швов внахлестку по основной формуле: $k = \frac{Pt}{\delta(t-d_0)}$.

Как и следовало ожидать, напряжение листов k во всех швах одинаковое — равно допускаемому напряжению железа на растяжение — 1350 кг/см^2 .

Пояснения к таблицам для расчета двухрядных швов впритык с равными накладками — B_2 (табл. 10, 11, 14 на стр. 87, 88, 92) для швов B_2 :

$$\varphi = \frac{t-d_0}{t},$$

$$n=2,$$

$$N=4.$$

Для определения теоретических значений t и P попеременно решаем уравнения (1) и (2а), (1) и (2б) настоящего параграфа.

В первом случае:

$$t = \frac{NS_{cp}}{k\delta} + d_0; \quad (E)$$

$$P = \frac{NS_{cp}}{t}. \quad (F)$$

Во втором случае:

$$t = \frac{nS_{cm}}{k\delta} + d_0; \quad (E')$$

$$P = \frac{nS_{cm}}{t}. \quad (F')$$

Табл. 10 аналогично табл. 7 дает теоретические значения величин t и P для разных значений δ от 6 до 18 мм. Ввиду того что для всех толщин $nS_{cm} < NS_{cp}$, значения t и P выведены во ф-лам (E') и (F').

При переходе от теоретических значений к практическим (конструктивным) определению соответствующих значений k_{cp} , k_{cm} и P производятся по формулам:

$$k_{cp} = \frac{k\delta(t-d_0)}{N\omega}; \quad (G)$$

$$k_{cm} = \frac{k\delta(t-d_0)}{n\delta d_0}; \quad (H)$$

$$P = \frac{k\delta(t-d_0)}{t}. \quad (I)$$

Табл. 11 аналогично табл. 8 содержит расчет окончательных значений k_{cp} , k_{cm} , P по ф-лам (G), (H), (I).

Табл. 14 аналогично табл. 9 служит для проверки напряжений двухрядных швов впритык по основной формуле:

$$k = \frac{Pt}{\delta(t-d_0)}.$$

Напряжение листов во всех швах одинаковое и всегда равно 1350 кг/см^2 .

Пояснения к таблицам для расчета трех- и четырехрядных швов впритык с неравными накладками — B_3 и B_4 (табл. 12, 13, 14 на стр. 94, 90 — 93).

Максимальное значение напряжений в листах по второму шву $a-a$ (фиг. 18, 19), считая от краев к середине.

Минимальное значение к. п. д.: $\varphi = \frac{P(T - 2d_0)}{PT - S_{cp}}$

для швов $B_3 \dots n=5; N=9$
 » » $B_1 \dots n=9; N=15$

Решая ур-ния (1) и (2а) настоящего параграфа, получим теоретические значения T и P :

$$T = \frac{(N-1)S_{cp}}{k\delta} + 2d_0; \quad (K)$$

$$P = \frac{NS_{cp}}{T}. \quad (L)$$

Табл. 12 аналогично табл. 7 и 10 содержит теоретические значения T и P для разных значений δ от 8 до 18 мм по ф-лам (K) и (L).

Определив аналогично предыдущему практические (конструктивные) значения T , рассчитываем окончательные значения k_{cp} , k_{cm} и P по формулам:

$$k_{cp} = \frac{PT}{N\omega}; \quad (M)$$

$$k_{cm} = \frac{PT}{n\delta d_0}; \quad (N)$$

$$P = \frac{Nk\delta(T - 2d_0)}{T(N-1)}. \quad (O)$$

Табл. 13 аналогично табл. 8 и 11 дает расчет окончательных значений k_{cp} , k_{cm} и P по ф-лам (M), (N) и (O).

Табл. 14, не имея самостоятельного значения, служит для проверки напряжений по первому, второму и третьему швам (считая от краев к середине) по формулам:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= \frac{PT}{\delta(T-d_0)} \\ k_2 &= \frac{PT - S_{cp}}{\delta(T-2d_0)} \\ k_3 &= \frac{PT - 3S_{cp}}{\delta(T-3d_0)} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{Максимальное напряжение по} \\ &\text{второму шву } k_2 = 1350 \text{ кг/см}^2. \end{aligned}$$

Толщина накладок (δ_1) для швов впритык определяется по формулам, выведенным в § 6, гл. III:

для швов $B_2 \dots \delta_1 = 0,60 \delta$
 » » $B_3 \dots \delta_1 = 0,67 \delta$
 » » $B_1 \dots \delta_1 = 0,72 \delta$

Табл. 15 дает расчет толщин стыковых накладок для швов впритык B_2 , B_3 и B_1 по трем последним формулам.

Табл. 16 содержит сводку всех расчетных и конструктивных величин для швов внахлестку и впритык, взятых из табл. 8, 11, 13, 15, расположенных по степени возрастания растягивающего усилия $P = HR\gamma$.

Эта таблица дает возможность по заданной величине $P - HR_1$ с исключительной быстротой подобрать пояс вертикального резервуара со всеми необходимыми расчетными и конструктивными данными, относящимися к данному поясу.

С расчетной стороны смысл пользования этой таблицей примерно такой же, как таблицей для подбора моментов сопротивления сложных кривых сечений.

При вычерчивании поясов конструктору остается лишь графически нанести все данные из таблицы, не занимаясь изысканиями о допусках в ширине листов, концевых шагах, заклепках, целесообразном расположении последних и т. д.

Остается еще на частном примере продемонстрировать способ пользования табл. 16; приводим в качестве примера резервуар емкостью 4685 м³ (фиг. 73), расчет которого в обычном виде представлен в примере 2, раздел 2 настоящего параграфа.

Пример. Расчет вертикального цилиндрического резервуара для нефтепродуктов емкостью 4685 м³; диаметр — 22 906 мм; высота — 11 397 мм.

Расчет стенок резервуара емкостью 4685 м³; $D = 22\,906$ мм; $H = 11\,397$ мм

№ пояса	№ листа согласно стандарт. табл.	Теоретическая высота пояса в мм	Расчетная высота пояса в мм	HR_1 в кг/см	Характеристика пояса согласно стандарт. таблице				$\gamma = \frac{HR_1}{P}$	Значения напряжений, соот. стандарт. табл.		Действительные значения напряжений		К. П. Д. пояс
					тип шва	толщина в мм	заклепки, пер. шва	P в кг/см		$k_{ср}$ в кг/см ²	$k_{сш}$ в кг/см ²	$k_{ср}$ в кг/см ²	$k_{сш}$ в кг/см ²	
VIII	1/1	1363	111,3*	127 L_2	4	9,5	397	0,319 961	—	—	—	431 306	—	0,734
VII	1/2	1359	247,2	283 L_2	4	9,5	397	0,712 961	—	—	—	961 684	—	0,734
VI	3/1	1355	382,7	438 L_2	5	11,5	489	0,895 947	—	—	—	1208 847	—	0,724
V	7/2	1452	527,9	605 B_2	6	11,5	611	0,990 660	2075	1336 653	2054	1336 653	2054	0,754
IV	12/1	1449	672,8	771 B_2	8	13,5	810	0,951 740	2034	1283 703	1934	1283 703	1934	0,749
III	17/2	1445	817,3	936 B_2	8	13,5	925	1,011 783	1937	1365 792	1958	1365 792	1958	0,856
II	25/2	1435	960,8	1100 B_1	9	16,5	1111	0,990 760	1880	1336 752	1861	1336 752	1861	0,913
I	32/1	1429	1109,7**	1271 B_1	11	19,0	1281	0,992 778	2001	1339 771	1985	1339 771	1985	0,862

Из таблицы видно, что сначала нужно определить переходный коэффициент

$$\gamma = \frac{HR_1}{P},$$

* 1363 + 30 = 300 = 1113

** 9608 + 1429 + 60 = 11 097

Таблица 1

Допускаемые напряжения железа и заклепочных соединений

Материал листов — Ст3_{ном}, Ст2_{ном}

Заклепочные отверстия — пробитые без последующей рассверловки

Элементы резервуара	Допускаемые напряжения в кг/см^2	
	при наливке резервуара нефтепродуктами	при наливке резервуара водой
Растяжение поясных листов	1200	1350
Срезывание заклепок вертикальных швов	840	950
Снятие заклепок вертикальных швов	1800	2000

Таблица 2

Размеры листов с учетом допусков

Толщина листов в мм	Нормальный размер в мм	Допуски в мм	Принятый размер в мм
2,5—3	1400 × 2800	10 × 15	1390 × 2785
4—5	1400 × 4200	5 × 5	1395 × 4195
6—12	1500 × 6000	5 × 5	1495 × 5995
13—18	1500 × 6000	10 × 5	1490 × 5995

Примечания. 1. Допуски согласно ОСТ 19.

2. Размеры листов согласно ОСТ 500.

3. Листы толщиной 2,5—3 мм для настила крыши.

Таблица 3

Условия и диаметры заклепок для швов выхлесту

$$k_{cp} = 950 \text{ кг/см}^2$$

$$k_{cm} = 2000 \text{ кг/см}^2$$

$$d = \sqrt{5\delta} - 0,4$$

Толщина листа δ в мм	Диаметр в мм		Среды значения		Сматные	
	заклепки d	отверстия d_0	Площадь в см^2	S_{cp} в мм^2	Площадь в см^2	S_{cm} в мм^2
4	9,5	10	0,7854	746	0,4	800
6	11,5	12	1,1309	1074	0,6	1200
8	13,5	14	1,5393	1462	0,84	1680
10	15,5	16	2,2698	2156	0,98	1980
12	17,5	18	3,1415	2984	1,36	2720
14	19,5	20	3,1415	2984	1,53	3060
16	21,5	22	3,1415	2984	2,00	4000
18	23,5	24	3,1415	2984	2,20	4400
20	25,5	26	3,1415	2984	2,40	4800

где $HR\gamma$ — расчетное, растягивающее усилие данного пояса в кг/см
 P — табличное значение усилия для подходящего типа шва.

Действительные напряжения k k_{cp} и k_{cm} определяются путем умножения на соответствующие табличные значения растягивающего напряжения пояса (1350 кг/см^2) и срезающие и сминающие напряжения заклепок.

Расчет весьма краток и целиком уместается в небольшой табличке. Упрощение в проектировании также очевидно.

Совершенно ясно, что табл. 16 можно также пользоваться для расчета вертикальных резервуаров под налив любой жидкостью с любым удельным весом; для этого необходимо все значения $HR\gamma$ для различных поясов резервуаров умножить в отношении $\frac{1}{0,9} = 1,12$, вводя в качестве величины γ значение веса 1 ом^3 жидкости, наливаемой в резервуар (например для водяных резервуаров $\gamma = 0,001 \text{ кг/см}^3$).

Выбор типов швов при проектировании вертикальных резервуаров

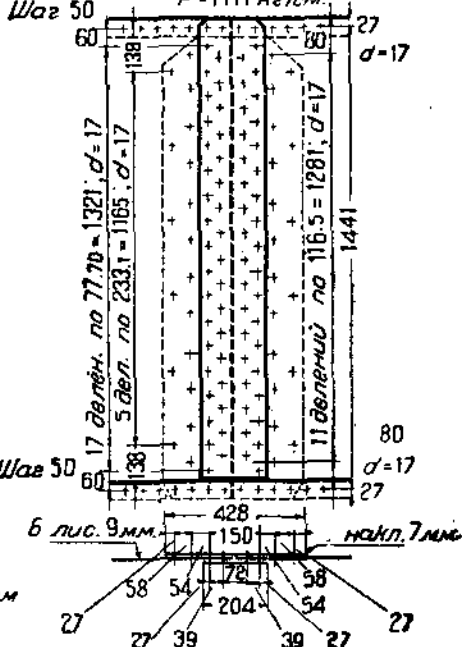
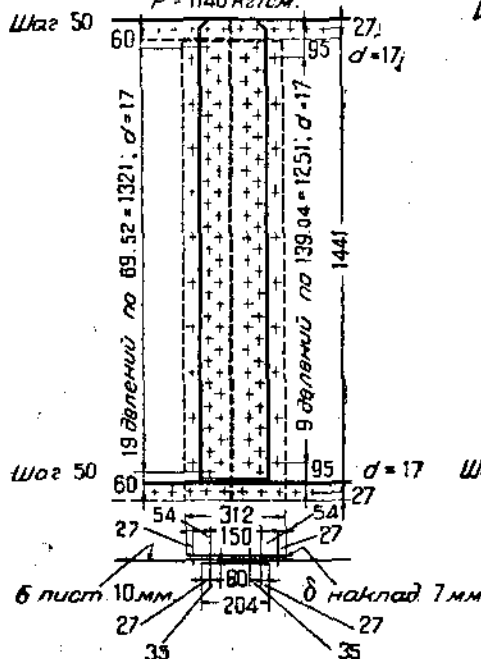
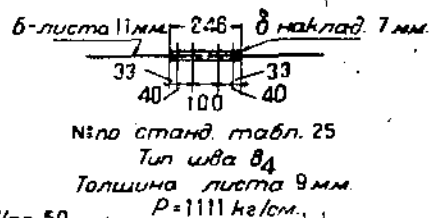
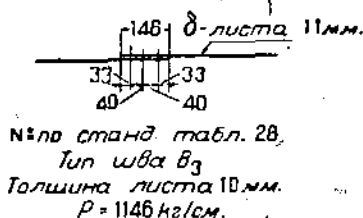
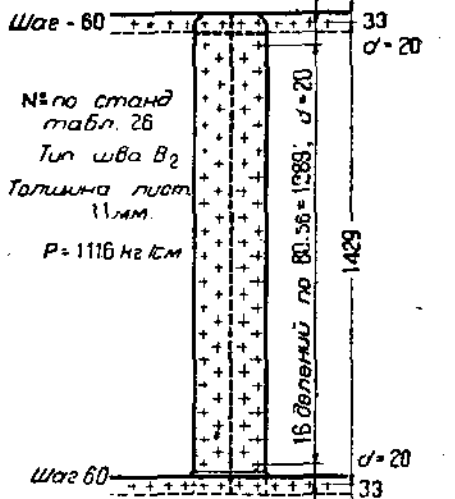
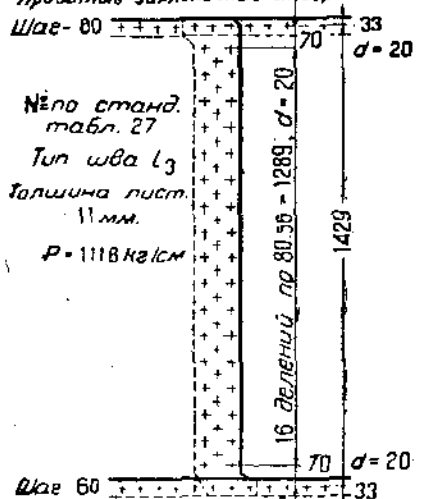
Для сравнения выгодности тех или иных типов швов выведем соотношение веса и стоимости одного поясного листа резервуара при разных типах швов с близкими значениями $P = HR\gamma$.

На фиг. 75 изображены швы типа L_3 , B_3 , B_3 , B_3 , боим в силу разных к. п. д. соответствуют различные толщины листов (табл. 16).

В таблице данной на стр. 96, сведены данные веса и стоимости одного поясного листа резервуара размером $6000 \times 1500 \text{ мм}$. В суммы стоимости включены материал и работа без начисления накладных расходов.

Из таблицы видно, что двух

Сравнение разных типов швов при близких значениях $R = H.P. \delta$
 Материал листов ст. 3 пок. ст. 2 пок. или негарнированное (торговое) железо
 Пробитые заклепочные отверстия



Фиг. 75

Таблица 4

Таблица усилий и диаметров заклепок для швов выртык

$$d \approx \sqrt{5\delta} - 0,6 \quad \begin{matrix} k_p = 950 \text{ кг/см}^2 \\ k_{cm} = 2000 \text{ кг/см}^2 \end{matrix}$$

Толщина листа δ в мм	Диаметр в мм		Срезывание		Смятие	
	заклепки d	отверстия d_0	Площадь в см ²	$S_{ср}$ в кг	Площадь в см ²	$S_{см}$ в кг
6	11,5	12	1,1309	1074	0,72	1440
7	13,5	14	1,5393	1462	0,98	1960
8	13,5	14	1,5393	1462	1,12	2240
9	16,5	17	2,2698	2156	1,53	3060
10	16,5	17	2,2698	2156	1,70	3400
11	19	20	3,1415	2984	2,20	4400
12	19	20	3,1415	2984	2,40	4800
13	19	20	3,1415	2984	2,60	5200
14	19	20	3,1415	2984	2,80	5600
15	22	23	4,1547	3946	3,45	6900
16	22	23	4,1547	3946	3,68	7360
17	25	26	5,3092	5043	4,42	8840
18	25	26	5,3092	5043	4,68	9360

Таблица 5

Шаг заклепок в горизонтальных швах

$$t \approx 3d_0$$

Диаметр в мм		Шаг в мм
заклепок d	отверстий d_0	
9,5	10	30
13,5	14	40
16,5	17	50
19,0	20	60
22	23	70

Таблица 6

Кромки листов

$$a \approx 1,5 d_0 + 0,3\delta$$

Диаметр в мм		Кромка в мм
заклепок d	отверстий d_0	
9,5	10	16
11,5	12	20
13,5	14	23
16,5	17	27
19	20	33
22	23	37
25	26	42

Таблица 7

Теоретические значения величин t и $P = HR\gamma$ для швов внахлестку

Материал — Ст2ном, Ст3ном

Пробитые заклепочные отверстия

 $k = 1350 \text{ кг/см}^2$ $k_{cp} = 950 \text{ кг/см}^2$ $k_{cm} = 2000 \text{ кг/см}^2$

Толщина железа и диаметр заклепок			S_{cp} в кг	Тип шва	$n S_{cp}$ в кг	$k\delta$ в кг/см	$\frac{n S_{cp}}{k\delta}$ в см	$t = \frac{n S_{cp}}{k\delta} + d_0$ в мм	$P = \frac{n S_{cp}}{t}$ кг/см	Примечание
δ в мм	Заклепки в мм									
	d	d_0								
4	9,5	10	746	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{1492}{2238}$	540	$\frac{2,762}{4,143}$	$\frac{37,62}{51,43}$	$\frac{396}{435}$	Уменьшение шага
6	11,5	12	1074	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{2148}{3222}$	675	$\frac{3,152}{4,773}$	$\frac{43,82}{59,73}$	$\frac{490}{539}$	Уменьшение шага
6	13,5	14	1462	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{2924}{4385}$	810	$\frac{3,608}{5,412}$	$\frac{50,08}{68,12}$	$\frac{583}{644}$	Уменьшение шага
7	13,5	14	1462	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{2924}{4385}$	945	$\frac{3,094}{4,641}$	$\frac{44,94}{60,41}$	$\frac{651}{726}$	Уменьшение шага
8	16,5	17	2156	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{4312}{6468}$	1080	$\frac{3,992}{5,988}$	$\frac{56,92}{76,88}$	$\frac{757}{841}$	Уменьшение шага
9	16,5	17	2156	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{4312}{6468}$	1215	$\frac{3,548}{5,322}$	$\frac{52,48}{70,22}$	$\frac{821}{921}$	
10	19	20	2984	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{5968}{8952}$	1350	$\frac{4,420}{6,630}$	$\frac{64,20}{86,30}$	$\frac{929}{1037}$	
11	19	20	2984	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{5968}{8952}$	1485	$\frac{4,018}{6,027}$	$\frac{60,18}{80,27}$	$\frac{991}{1115}$	
12	19	20	2984	$\frac{L_2}{L_3}$	$\frac{5968}{8952}$	1620	$\frac{3,683}{5,525}$	$\frac{56,33}{75,25}$	$\frac{1050}{1189}$	

$$t = \frac{n S_{cp}}{k\delta} + d_0$$

Примечание. L_2 — двухрядный шов внахлестку, $n = 2$. L_3 — трехрядный шов внахлестку, $n = 3$

$$P = \frac{n S_{cp}}{t}$$

Таблица 8
Свойственные значения величин t , $P = NR$, K_{cp} для швов внахлестку

Материал — Ст3мен, Ст3мен

Пробитые заклепочные отверстия $k = 1350 \text{ кг/см}^2$

Толщина лист, δ в мм	Заклепки		Ширина листов		Шаг заклепок			Средние значения				Напряжения лист. $k_0 = \frac{P}{k\delta}$ по одному месту $k_0 = \frac{2}{3} \text{ кг/см}^2$	$P = \frac{k\delta(t-d_0)}{t}$ в кг/см	Примечание	Порядковый № в табл. 16			
	δ в мм	n в см ²	Тип шва	Целая ширина с учетом доп. нахлестки δ в мм	Двойная кройка δ в мм	$D = A + 2a$ в мм	Двойной конец шва $2t_0$ в мм	$G = B - 2t_0$ в мм	Количество хвостов в пределах ширины C в мм	Шаг t в мм	$t - d_0$ в мм					$k\delta$ в кг/см	$k\delta(t-d_0)$ в кг	$K_{cp} = \frac{k\delta(t-d_0)}{n}$ в кг/см ²
4	10	0,7554	L_2	1303	32	1363	72	1291	34	37,97	27,97	540	1510	961	397	992	0,734	1
5	12	1,309	L_2	1895	36	1359	68	1291	34	37,97	27,97	540	1510	640	397	992	0,734	2
	12	1,309	L_2	1895	40	1355	86	1269	29	43,75	31,75	675	2143	947	489	978	0,724	3
6	14	1,5393	L_2	1495	43	1352	83	1269	27	47,00	35,00	675	2362	696	502	1004	0,743	4
	14	1,5393	L_2	1495	46	1449	100	1349	27	49,96	35,96	810	2912	943	582	970	0,718	5
7	14	1,5393	L_2	1495	50	1445	96	1349	24	56,20	42,20	810	3418	740	608	1013	0,750	6
	14	1,5393	L_2	1495	46	1449	100	1349	30	44,96	30,96	945	2925	950	650	928	0,687	8
8	17	2,2698	L_2	1495	54	1441	120	1321	23	58,65	44,65	945	4219	913	719	1027	0,760	10
	17	2,2698	L_2	1495	60	1435	114	1321	24	55,04	39,04	1080	4108	904	716	932	0,690	11
9	17	2,2698	L_2	1495	54	1441	120	1321	18	73,38	56,38	1080	6039	891	829	1036	0,767	14
	17	2,2698	L_2	1495	66	1435	114	1321	25	52,84	35,84	1215	6381	959	823	914	0,677	13
10	20	3,1415	L_2	1495	66	1429	140	1289	19	69,52	52,52	1215	6381	937	917	1018	0,754	15
	20	3,1415	L_2	1495	70	1425	136	1289	20	64,45	44,45	1350	6000	964	930	930	0,689	18
11	20	3,1415	L_2	1495	66	1429	140	1289	15	85,93	65,93	1350	8900	944	1035	1035	0,766	23
	20	3,1415	L_2	1495	70	1425	136	1289	22	58,59	38,59	1485	5730	911	977	888	0,658	19
12	20	3,1415	L_2	1495	66	1429	140	1289	16	80,56	60,56	1485	8993	961	1118	1016	0,752	27
	20	3,1415	L_2	1495	66	1429	140	1289	23	56,04	36,04	1620	5838	929	1041	867	0,642	24
									17	75,82	55,82		9042	959	1192	993	0,735	29

Примечания. 1. L_2 — двухрядный шаг внахлестку. L_3 — трехрядный шаг внахлестку. 2. Напряжения листов во всех швах одинаковы: $k = 1350 \text{ кг/см}^2$. 3. Обозначения линейных размеров по ширине листов (А, В, С, t_0 , а) согласно фиг. 74. Значения 2а, В, $2t_0$ в числителе дроби (над чертой) — для случая охватывающего диаметра заклепок в верхнем и нижнем горизонтальном (горизонтальном) шве рассматриваемого пояса; значения этих величин в знаменателе дроби (под чертой) — для случая разных диаметров заклепок в этих швах (диаметр заклепок нижнего шва больше диаметра заклепок верхнего шва).

$$K_{cp} = \frac{k\delta(t - d_0)}{n}$$

$$P = \frac{k\delta(t - d_0)}{t}$$

Таблица 9
Проверка напряжений листов в швах внахлестку
Материал — Ст2ном, Ст3ном
Пробитые заклепочные отверстия

δ в мм	Тип шва	d_0 в мм	t в мм	P в кг/см	Pt в кг	$t - d_0$ в см	$\delta(t - d_0)$ в см ²	$k = \frac{P \cdot t}{\delta(t - d_0)}$ в кг/см ²
4	$\frac{L_2}{L_3}$	10	$\frac{37,97}{39,97}$	$\frac{397}{397}$	$\frac{1507}{1507}$	$\frac{27,97}{27,97}$	$\frac{1,1188}{1,1188}$	$\frac{1350}{1350}$
5	$\frac{L_2}{L_3}$	12	$\frac{43,75}{47,00}$	$\frac{489}{502}$	$\frac{2139}{2359}$	$\frac{31,75}{35,00}$	$\frac{1,5875}{1,7500}$	$\frac{1350}{1350}$
6	$\frac{L_2}{L_3}$	14	$\frac{49,96}{56,20}$	$\frac{582}{608}$	$\frac{2907}{3417}$	$\frac{35,96}{42,20}$	$\frac{2,1576}{2,5320}$	$\frac{1350}{1350}$
7	$\frac{L_2}{L_3}$	14	$\frac{44,93}{58,65}$	$\frac{650}{719}$	$\frac{2922}{4217}$	$\frac{30,96}{44,65}$	$\frac{2,1672}{3,1255}$	$\frac{1350}{1350}$
8	$\frac{L_2}{L_3}$	17	$\frac{55,04}{73,38}$	$\frac{746}{829}$	$\frac{4106}{6083}$	$\frac{38,04}{56,38}$	$\frac{3,0432}{4,5104}$	$\frac{1350}{1350}$
9	$\frac{L_2}{L_3}$	17	$\frac{52,84}{69,52}$	$\frac{823}{917}$	$\frac{4348}{6374}$	$\frac{35,84}{52,52}$	$\frac{3,2256}{4,7268}$	$\frac{1350}{1350}$
10	$\frac{L_2}{L_3}$	20	$\frac{64,45}{85,93}$	$\frac{930}{1035}$	$\frac{5993}{8893}$	$\frac{44,45}{65,93}$	$\frac{4,4450}{6,5930}$	$\frac{1350}{1350}$
11	$\frac{L_2}{L_3}$	20	$\frac{58,59}{80,56}$	$\frac{977}{1119}$	$\frac{5724}{9006}$	$\frac{38,59}{60,56}$	$\frac{4,2449}{6,6616}$	$\frac{1350}{1350}$
12	$\frac{L_2}{L_3}$	20	$\frac{56,04}{75,82}$	$\frac{1041}{1192}$	$\frac{5833}{9037}$	$\frac{36,04}{55,82}$	$\frac{4,3248}{6,6984}$	$\frac{1350}{1350}$

$$k = \frac{Pt}{\delta(t - d_0)} = 1350 \text{ кг/см}^2$$

Таблица 10

Теоретические значения величин t и $P = NR\gamma$ для швов выпуклые двусторонних

Материал — Ст2 лон, Ст3 лон. Прогнутые заклепочные отверстия

 $k = 1350 \text{ кг/см}^2$ $k_{cp} = 950 \text{ кг/см}^2$ $k_{cm} = 2000 \text{ кг/см}^2$

Толщина листа и диаметр заклепок в мм		Тип шва	$k\delta$ в кг/см	Среднее значение			С			е			Теоретические значения	
δ	Защелки			S_{cp} в кг	N в кг	NS_{cp} в кг	S_{cm} в кг	n	nS_{cm} в кг	$\frac{nS_{cm}}{k\delta}$ в см	$t = \frac{n \cdot S_{cm}}{k\delta} + d_0$ в мм	$P = \frac{n \cdot S_{cm}}{t}$ в кг/см	t в мм	P в кг/см
6	11,5	12	810	1 074	4	4 296	1 440	2	2 880	3,55	47,5	606	47,5	606
7	13,5	14	945	1 462	4	5 848	1 960	2	3 920	4,14	55,4	707	55,4	707
8	15,5	16	1 080	1 462	4	5 848	2 240	2	4 480	4,14	55,4	808	55,4	808
9	16,5	17	1 215	2 156	4	8 624	3 080	2	6 120	5,03	67,3	909	67,3	909
10	16,5	17	1 350	2 156	4	8 624	3 400	2	6 800	5,03	67,3	1 010	67,3	1 010
11	19	20	1 485	2 984	4	11 936	4 400	2	8 800	5,92	79,2	1 111	79,2	1 111
12	19	20	1 620	2 984	4	11 936	4 800	2	9 600	5,92	79,2	1 212	79,2	1 212
13	19	20	1 755	2 984	4	11 936	5 200	2	10 400	5,92	79,2	1 313	79,2	1 313
14	19	20	1 890	2 984	4	11 936	5 600	2	11 200	5,92	79,2	1 414	79,2	1 414
15	22	23	2 025	3 946	4	15 784	6 800	2	13 800	6,81	91,1	1 514	91,1	1 514
16	23	23	2 160	3 946	4	15 784	7 360	2	14 720	6,81	91,1	1 615	91,1	1 615
17	25	26	2 295	5 043	4	20 172	8 840	2	17 680	7,70	103,0	1 716	103,0	1 716
18	25	26	2 430	5 043	4	20 172	9 360	2	18 720	7,70	103,0	1 817	103,0	1 817

$$t = \frac{N \cdot S_{cp}}{k\delta} + d_0$$

Расчет по средним значениям напряжений

$$N = 4$$

$$P = \frac{N \cdot S_{cp}}{t}$$

$$t = \frac{n \cdot S_{cm}}{k\delta} + d_0$$

Расчет по средним значениям напряжений

$$P = \frac{n \cdot S_{cm}}{t}$$

$$n = 2$$

Примечание. B_2 — двусторонний шов выпуклый.

Действительные значения величины t , $P = HR\gamma$, k_{cp} , k_{cm}
 Материал — Ст2ном, Ст3ном

Толщина листов δ в мм	Заклепки		Толщина накладки	Тип шва	Ширина листов			Шаг заклепок				
	d_0 в мм	b в см ²			Полная ширина с учетом допусков A в мм	Двойная кромка $2a$ в мм	Теоретическая ширина $B = A - 2a$ в мм	Двойной концевой шаг $2t_0$ в мм	$C = B - 2t_0$ мм	Количество делений в пределах ширины C мм	Шаг t в мм	Шаг T в мм
6	12	1,1309	5	B_2	1495	$\frac{40}{43}$	$\frac{1455}{1452}$	$\frac{86}{83}$	1369	28	48,99	48,99
7	14	1,5393	5	B_2	1495	$\frac{46}{50}$	$\frac{1449}{1445}$	$\frac{100}{96}$	1349	24	56,20	56,20
8	14	1,5393	6	B_2	1495	$\frac{46}{50}$	$\frac{1449}{1445}$	$\frac{100}{96}$	1349	24	56,20	56,20
9	17	2,2698	6	B_2	1495	$\frac{54}{60}$	$\frac{1441}{1435}$	$\frac{120}{114}$	1321	19	69,52	69,52
10	17	2,2698	6	B_2	1495	$\frac{54}{60}$	$\frac{1441}{1435}$	$\frac{120}{114}$	1321	19	69,52	69,52
11	20	3,1415	7	B_2	1495	$\frac{66}{70}$	$\frac{1429}{1425}$	$\frac{140}{136}$	1289	16	80,56	80,56
12	20	3,1415	8	B_2	1495	$\frac{66}{70}$	$\frac{1429}{1425}$	$\frac{140}{136}$	1289	16	80,56	80,56
13	20	3,1415	8	B_2	1490	$\frac{66}{70}$	$\frac{1424}{1420}$	$\frac{135}{131}$	1289	16	80,56	80,56
14	20	3,1415	9	B_2	1490	$\frac{66}{70}$	$\frac{1424}{1420}$	$\frac{135}{131}$	1289	16	80,56	80,56
15	23	4,1547	9	B_2	1490	$\frac{74}{79}$	$\frac{1416}{1411}$	$\frac{148}{143}$	1268	14	90,57	90,57
16	23	4,1547	10	B_2	1490	$\frac{74}{79}$	$\frac{1416}{1411}$	$\frac{148}{143}$	1268	14	90,57	90,57
17	26	5,3092	11	B_2	1490	84	1406	168	1238	12	103,16	103,16
18	26	5,3092	11	B_2	1490	84	1406	168	1238	12	103,16	103,16

$$k_{cp} = \frac{k\delta(t-d_0)}{N\omega}$$

$$k_{cm} = \frac{k\delta(t-d_0)}{n\delta d_0}$$

$$P = \frac{k\delta(t-d_0)}{t}$$

Примечания. 1. B_2 — двухрядный шов впритык. линейных размеров по ширине листов (A, B, C, t_0, a) со для случая одинакового диаметра заклепок в верхнем и чин в знаменателе дроби (под чертой) — для случая раз заклепок верхнего шва)

для швов впритык двухрядных с равными накладками
Пробитые заклепочные отверстия

Срезающие напряжения						Сминающие напряжения				К. п. д. шва			Порядковый № в табл. 16
$t - d_0$ в мм	k_2 в кг/см	$k_2(T - d_0)$ в кг	N	N_{Φ} в см ²	$k_{cp} = \frac{k_2(T - d_0)}{N_{\Phi}}$ в кг/см ²	n	n_0 в см	$n_0 d_0$ в см ²	$k_{сж} = \frac{k_2(T - d)}{n_0 d_0}$ в кг/см ²	$P = \frac{k_2(T - d_0)}{T}$ в кг/см	Напряжение листов по делому месту $\frac{P}{\delta}$ в кг/см ²	$k_0 = \frac{k_0}{1350}$	
36,89	810	2 988	4	4,523	660	2	1,2	1,44	2 075	611	1 018	0,754	7
42,20	945	3 987	4	6,157	647	2	1,4	1,96	2 034	709	1 012	0,750	9
42,20	1 080	4 557	4	6,157	740	2	1,6	2,24	2 034	810	1 012	0,749	12
52,52	1 215	6 381	4	9,079	702	2	1,8	3,06	2 085	917	1 018	0,754	16
52,52	1 350	7 090	4	9 079	780	2	2,0	3,4	2 085	1 019	1 019	0,755	21
60,56	1 485	8 993	4	12,566	716	2	2,2	4,4	2 043	1 116	1 014	0,751	26
60,56	1 620	9 810	4	12,566	780	2	2,4	4,8	2 043	1 217	1 014	0,751	30
60,56	1 755	10 628	4	12,566	845	2	2,6	5,2	2 043	1 319	1 014	0,751	33
60,56	1 890	11 445	4	12,566	911	2	2,8	5,6	2 043	1 420	1 014	0,751	36
67,57	2 025	13 683	4	16,618	823	2	3,0	6,90	1 983	1 510	1 006	0,745	38
67,57	2 160	14 595	4	16,618	878	2	3,2	7,36	1 983	1 611	1 006	0,745	42
77,16	2 295	17 708	4	21,236	833	2	3,4	8,84	2 003	1 716	1 009	0,747	44
77,16	2 430	18 749	4	21,236	882	2	3,6	9,36	2 003	1 817	1 009	0,747	47

2. Напряжение железа во всех швах одинаковое: $k = 1350$ кг/см². 3. Обозначения
табл. 74. 4. Значения $2a$, B , $2t_0$ в числителе дроби (над чертой) —
напряжением горизонтальном (кольцевом) шве рассматриваемого пояса; значения этих вели-
чин диаметров заклепок в этих швах (диаметр заклепок нижнего шва больше диаметра
Табл. 12 см. на стр. 94.

Таб
Действительные значения величин $1, P = HR\gamma, k_{cp}, k_{cm}$
Материал — Ст2
Пробитые заклепочные от

Толщина листов δ в мм	Заклепки		Тип шва	Толщина накладки	Ширина листов				Шаг заклепок				k_3 в кг/см	$T - 2\delta_0$ в мм
	d_0 в мм	ω в см ²			Полная ширина с учетом допусков A в мм	Двойная кройка $2a$ в мм	Теоретическая ширина $B = A - 2a$ в мм	Двойной копцевой шаг $2t_0$ в мм	$C = B - 2t_0$ в мм	Количество делений в пределах ширины C в мм	t в мм	T в мм		
8	14	1,5393	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{6}{6}$	1 495	46 50	1 449 1 445	100 96	1 349	23 21	58,65 64,23	117,30 192,69	1 080	89,30 164,69
9	17	2,2698	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{6}{7}$	1 495	54 60	1 441 1 435	120 114	1 321	19 17	69,52 77,70	139,04 233,1	1 215	105,04 199,1
10	17	2,2698	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{7}{8}$	1 495	54 60	1 441 1 435	120 114	1 321	19 17	69,52 77,70	139,04 233,1	1 350	105,04 199,1
11	20	3,1415	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{8}{8}$	1 495	66 70	1 429 1 425	140 136	1 289	15 14	85,93 92,07	171,86 276,21	1 485	131,86 236,21
12	20	3,1415	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{8}{9}$	1 495	66 70	1 429 1 425	140 136	1 289	15 14	85,93 92,07	171,86 276,21	1 620	131,86 236,21
13	20	3,1415	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{9}{10}$	1 490	66 70	1 424 1 420	135 131	1 289	15 14	85,93 92,07	171,86 276,21	1 755	131,86 236,21
14	20	3,1415	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{10}{10}$	1 490	66 70	1 424 1 420	135 131	1 289	17 15	75,82 85,93	151,64 257,79	1 890	111,64 217,79
15	23	4,1547	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{10}{11}$	1 490	74 79	1 416 1 411	148 143	1 268	13 12	97,53 105,66	195,06 316,98	2 025	149,06 270,98
16	23	4,1547	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{11}{12}$	1 490	74 79	1 416 1 411	148 143	1 268	15 14	84,53 90,57	169,06 271,71	2 160	123,06 225,71
17	26	5,3092	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{12}{13}$	1 490	84	1 406	168	1 238	11 11	112,54 112,54	225,08 337,62	2 295	173,08 285,62
18	26	5,3092	$\frac{B_3}{B_4}$	$\frac{12}{13}$	1 490	84	1 406	168	1 238	13 11	95,23 112,54	190,46 337,62	2 430	138,46 285,62

$$P = \frac{Nk_3(T - 2\delta_0)}{T(N - 1)}$$

$$k_{cp} = \frac{PT}{N\omega}$$

$$k_{cm} = \frac{PT}{n\delta\delta_0}$$

Примечания. 1. B_3 — трехрядный шов внахлест. B_4 — четырех рядный. 2. Обозначения линейных размеров по ширине листов (над чертой) — для случая одинакового диаметра заклепок в верхнем и нижнем рядах. 3. Обозначения линейных размеров по ширине листов (под чертой) — для случая разных диаметров заклепок в верхнем и нижнем рядах.

лист 13

для швов вшитых трехрядных и четырехрядных

Ст 3 ном

версия. $k = 1950 \text{ кг/см}^2$

$k_3(T-2d_0)$ в кг	$k_3(T-2d_0)$ в кг/см	$\frac{N}{N-1}$	$P = \frac{N \cdot k_3(T-2d_0)}{T(N-1)}$ в кг/см	Срезающие напряжения			Сминающие напряжения				К. и. д. шва		
				PT в кг	$N\sigma$ в см ²	$k_{cr} = \frac{PT}{N\sigma}$ в кг/см ²	n	$n\delta$ в см	$n\delta d_0$ в см ²	$k_{cm} = \frac{PT}{n\delta d_0}$ в кг/см ²	Напряжен. листов по плоскости шву P в кг/см ²	$k_0 = \frac{P}{\delta}$ в кг/см ²	Порядковый № в табл. 16
9 644	822	1,125	925	10 850	13,853	783	5	4,0	5,60	1 937	1 156	0,858	17
17 786	923	1,0714	989	19 057	23,089	825	9	7,2	10,08	1 890	1 236	0,916	20
12 763	917	1,125	1 031	14 335	20,428	701	5	4,5	7,65	1 873	1 145	0,848	22
24 190	1 037	1,0714	1 111	25 897	34,047	760	9	8,1	13,77	1 880	1 233	0,913	25
14 180	1 019	1,125	1 146	15 934	20,428	780	5	5,0	8,5	1 874	1 146	0,849	28
26 878	1 163	1,0714	1 235	28 787	34,047	845	9	9,0	15,3	1 881	1 235	0,914	31
19 581	1 139	1,125	1 281	22 015	28,273	778	5	5,5	11,0	2 001	1 164	0,862	32
35 077	1 269	1,0714	1 359	37 536	47,122	796	9	9,9	19,8	1 895	1 235	0,915	34
21 361	1 242	1,125	1 397	24 008	28,273	849	5	6,0	12,0	2 000	1 164	0,862	35
38 266	1 385	1,0714	1 484	40 989	47,122	869	9	10,8	21,6	1 897	1 236	0,915	37
23 141	1 346	1,125	1 514	26 019	28,273	920	5	6,5	13,0	2 001	1 164	0,862	39
41 454	1 500	1,0714	1 607	44 386	47,122	941	9	11,7	23,4	1 896	1 236	0,916	41
21 099	1 391	1,125	1 564	23 716	28,273	838	5	7,0	14,0	1 694	1 117	0,827	40
41 162	1 596	1,0714	1 710	44 082	47,122	935	9	12,6	25,2	1 749	1 221	0,904	43
30 184	1 547	1,125	1 740	33 940	37,392	907	5	7,5	17,25	1 967	1 160	0,859	45
54 873	1 731	1,0714	1 854	58 768	62,320	943	9	13,5	31,05	1 892	1 236	0,915	48
26 580	1 572	1,125	1 767	29 889	37,392	800	5	8,0	18,40	1 624	1 105	0,818	46
48 753	1 794	1,0714	1 922	52 222	62,320	837	9	14,4	33,12	1 576	1 199	0,888	49
39 721	1 764	1,125	1 984	44 655	47,782	934	5	8,5	22,10	2 020	1 167	0,864	50
65 549	1 941	1,0714	2 079	70 191	79,638	881	9	15,3	39,78	1 764	1 222	0,905	52
33 645	1 766	1,125	1 987	37 844	47,782	792	5	9,0	23,40	1 617	1 103	0,817	51
69 405	2 055	1,0714	2 202	74 343	79,638	933	9	16,2	42,12	1 765	1 223	0,905	53

рехрядный шов вшитый. 2. Максимальные напряжения по второму шву (считая от краев (А, В, С, t_0 , а) согласно фиг. 74. 4. Значения $2a$, В, $2t_0$ в числителе дроби и в нижнем горизонтальном (кольцевом) шве рассматриваемого пояса; значения этих диаметров заклепок в этих швах (диаметр заклепок нижнего шва больше диаметра заклепок

Т а б
Проверка напряжений
Материал — Ст3ном,
Пробитые заклепочные от

δ в мм	d_0 в мм	Тип шва	T в см	P в кг/см	PT в кг	I ш о в			N
						$T-d_0$ в мм	$\delta(T-d_0)$ в см ²	$k_1 = \frac{PT}{\delta(T-d_0)}$ кг/см ²	
6	12	B_2	48,89	611	2 988	36,89	2,213	1 350	—
7	14	B_2	56,20	700	3 984	42,20	2,954	1 350	—
8	14	B_2	56,20	810	4 552	42,20	3,376	1 350	—
		B_3	117,30	925	10 850	103,30	8,264	1 312	9
		B_4	192,69	989	19 057	178,69	14,295	1 333	15
9	17	B_2	69,52	917	6 375	52,52	4,726	1 350	—
		B_3	139,04	1 031	14 335	122,04	10,993	1 304	9
		B_4	233,10	1 111	25 897	216,10	19,449	1 331	15
10	17	B_2	69,52	1 019	7 084	52,52	5,252	1 350	—
		B_3	139,04	1 146	15 934	122,04	12,204	1 305	9
		B_4	233,10	1 235	23 787	216,1	21,610	1 331	15
11	20	B_2	80,56	1 116	8 990	60,56	6,661	1 350	—
		B_3	171,86	1 281	22 015	151,86	16,704	1 317	9
		B_4	276,21	1 359	37 536	256,21	28,183	1 331	15
12	20	B_2	80,56	1 217	9 804	60,56	7,267	1 350	—
		B_3	171,86	1 397	24 008	151,86	18,223	1 317	9
		B_4	276,21	1 484	40 989	256,21	30,745	1 333	15
13	20	B_2	80,56	1 319	10 626	60,56	7,873	1 350	—
		B_3	171,86	1 514	26 019	151,86	19,741	1 318	9
		B_4	276,21	1 607	44 386	256,21	33,307	1 332	15
14	20	B_2	80,56	1 420	11 439	60,56	8,478	1 350	—
		B_3	151,64	1 564	23 716	131,64	18,429	1 286	9
		B_4	257,79	1 710	44 082	237,79	33,290	1 324	15
15	23	B_2	90,57	1 510	13 676	67,57	10,135	1 350	—
		B_3	195,06	1 740	33 940	172,06	25,809	1 315	9
		B_4	316,98	1 854	58 768	293,98	44,097	1 332	15
16	23	B_2	90,57	1 611	14 590	67,57	10,811	1 350	—
		B_3	169,06	1 768	29 889	146,06	23,369	1 279	9
		B_4	271,71	1 922	52 222	248,71	39,793	1 312	15
17	26	B_2	103,16	1 716	17 702	77,16	13,11	1 350	—
		B_3	225,08	1 934	44 655	199,08	33,840	1 319	9
		B_4	337,62	2 079	70 191	311,62	52,970	1 325	15
18	26	B_2	103,16	1 817	18 744	77,16	13,880	1 350	—
		B_3	190,46	1 987	37 844	164,46	29,602	1 278	9
		B_4	337,62	2 202	74 343	311,62	56,090	1 325	15

$$k_1 = \frac{PT}{\delta(T-d_0)}; \quad k_2 = \frac{PT - S_{\text{с.р.}}}{\delta(T-2d_0)} = 1350 \text{ кг/см}^2;$$

таблица 14
в линиях виртуальных

Стр. 100

версия $k = 1350 \text{ км/с}^2$

2 шов			$\delta(T-2d_0)$ в см ²	$k_2 = \frac{PT-S}{\delta(T-2d_0)}$ в км/с ²	3 шов				
$S = \frac{PT}{N}$ в км	$PT - S$ в км	$T - 2d_0$ в км			$3S$ в км	$PT - 3S$ в км	$T - 3d_0$ в см	$\delta(T-3d_0)$ в см ²	$k_3 = \frac{PT-3S}{\delta(T-3d_0)}$ в км/с ²
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
1205	9645	89,30	7,14	1350	—	—	—	—	—
1270	17787	164,69	13,17	1350	3810	15247	150,69	12,05	1265
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
1592	12743	105,04	9,45	1350	—	—	—	—	—
1726	24171	199,10	17,91	1350	5178	20719	182,10	16,39	1264
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
1770	14164	105,04	10,50	1350	—	—	—	—	—
1918	26869	199,10	19,91	1350	5764	23027	182,10	16,21	1264
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
2446	19569	131,86	14,50	1350	—	—	—	—	—
2502	35034	236,21	25,98	1350	7606	30030	216,21	23,78	1262
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
2667	21341	181,86	15,82	1350	—	—	—	—	—
2732	38257	236,21	28,34	1350	8196	32793	216,21	25,94	1263
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
2891	23128	191,86	17,14	1350	—	—	—	—	—
2959	41427	286,21	30,70	1350	8877	35509	216,21	28,10	1263
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
2635	21081	111,64	15,63	1350	—	—	—	—	—
2938	41144	217,79	30,49	1350	8814	35268	197,79	27,69	1273
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
3771	30169	149,06	22,36	1350	—	—	—	—	—
3917	54851	270,98	40,64	1350	11751	47017	247,98	37,19	1263
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
3321	26568	123,08	19,69	1350	—	—	—	—	—
3481	48741	225,71	36,11	1350	10443	41779	202,71	32,43	1288
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
4961	39694	173,08	29,42	1350	—	—	—	—	—
4679	65512	285,62	48,65	1350	14037	56154	259,62	44,18	1272
—	—	—	—	1350	—	—	—	—	—
4204	33640	138,46	24,92	1350	—	—	—	—	—
4956	69387	285,62	51,41	1350	14868	55663	259,62	46,73	1191

$$k_3 = \frac{PT - 3S_{cp}}{\delta(T - 2d_0)}$$

Таблица 12

Теоретические значения величины T и $P = HR$ для швов впритык трехрядных и четырехрядных с неравными накладками

Материал — Ст2 пош. Ст3 пош. Пробитые заклепочные отверстия
 $k = 1350 \text{ кг/см}^2$ $k_{ср} = 950 \text{ кг/см}^2$

Толщина листов и диаметр заклепочник в мм			Защелки		Тип шва	k в кг/см	S_p в кг	Срезывание					Теоретические значения			Примечания
δ	d d_0							$N-1$	$(N-1) \cdot S_{ср}$ в кг	$(N-1) \frac{S_{ср}}{k}$ в см	$T = \frac{(N-1) S_{ср}}{k} + 2d_0$ в мм	$P = \frac{N \cdot S_{ср}}{T}$ в кг/см	T в мм	P в кг/см	Шаг t в мм	
8	13,5	14	$\frac{B_3}{B_4}$	1 080	1 462	8	11 696	10,82	136,2	966	136,2	966	68,10	Шаг уменьшен		
						14	20 468	18,95	217,5	1 008	217,5	1 008	72,49			
9	16,5	17	$\frac{B_3}{B_4}$	1 215	2 156	8	17 248	14,19	175,9	1 103	175,9	1 103	87,95	Шаг уменьшен		
						14	30 184	24,84	282,4	1 145	282,4	1 145	94,12			
10	16,5	17	$\frac{B_3}{B_4}$	1 350	2 156	8	17 248	12,77	161,7	1 200	161,7	1 200	80,85	Шаг уменьшен		
						14	30 184	22,35	257,5	1 255	257,5	1 255	85,83			
11	19	20	$\frac{B_3}{B_4}$	1 485	2 984	8	23 872	16,07	200,7	1 338	200,7	1 338	100,35	Шаг уменьшен		
						14	41 776	28,13	321,3	1 393	321,3	1 393	107,10			
12	19	20	$\frac{B_3}{B_4}$	1 620	2 984	8	23 872	14,73	187,3	1 433	187,3	1 493	93,65	Шаг уменьшен		
						14	41 776	25,78	297,8	1 503	297,8	1 503	99,26			
13	19	20	$\frac{B_3}{B_4}$	1 755	2 984	8	23 872	13,60	176,0	1 525	176,0	1 525	88,00			
						14	41 776	23,79	277,9	1 610	277,9	1 610	92,63			
14	19	20	$\frac{B_3}{B_4}$	1 890	2 984	8	23 872	12,63	166,3	1 614	166,3	1 614	83,15			
						14	41 776	22,09	260,9	1 715	260,9	1 715	86,96			
15	22	23	$\frac{B_3}{B_4}$	2 025	3 946	8	31 568	15,58	201,8	1 769	201,8	1 769	100,90			
						14	55 244	27,28	318,8	1 856	318,8	1 856	106,26			
16	22	23	$\frac{B_3}{B_4}$	2 160	3 946	8	31 568	14,61	192,1	1 848	192,1	1 848	96,05			
						14	55 244	25,57	301,7	1 961	301,7	1 961	100,55			
17	25	26	$\frac{B_3}{B_4}$	2 295	5 043	8	40 344	17,57	227,7	1 993	227,7	1 993	113,85			
						14	70 602	30,76	359,6	2 103	359,6	2 103	119,85			
18	25	26	$\frac{B_3}{B_4}$	2 430	5 043	8	40 344	16,60	218,0	2 081	218,0	2 081	109,00			
						14	70 602	29,06	342,6	2 207	342,6	2 207	114,20			

$$T = \frac{(N-1) \cdot S_{ср}}{k} + 2d_0$$

$$P = \frac{N \cdot S_{ср}}{T}$$

Примечание. B_3 — трехрядный шов впритык.
 B_4 — четырехрядный шов впритык.

Таблица 15

Определение толщин изгибов для швов в швах

Толщина листов δ в мм	Тип шва	Коэффициент μ	Теоретическая толщина изгиба в мм	Практическая толщина изгиба δ_1 в мм	Толщина листов δ в мм	Тип шва	Коэффициент μ	Теоретическая толщина изгиба в мм	Практическая толщина изгиба δ_1 в мм
6	B_2	0,60	3,6	5	14	B_2	0,60	8,4	9
7	B_2	0,60	4,2	5		B_3	0,67	9,4	10
8	B_2	0,60	4,8	6	15	B_4	0,72	10,1	10
	B_3	0,67	5,4	6		B_2	0,60	9,0	9
	B_4	0,72	5,8	6		B_3	0,67	10,1	10
9	B_2	0,60	5,4	6	16	B_4	0,72	10,8	11
	B_3	0,67	6,0	6		B_2	0,60	9,6	10
	B_4	0,72	6,5	7		B_3	0,67	10,7	11
10	B_2	0,60	6,0	6	17	B_4	0,72	11,5	12
	B_3	0,67	6,7	7		B_2	0,60	10,2	11
	B_4	0,72	7,2	8		B_3	0,67	11,4	12
11	B_2	0,60	6,6	7	18	B_4	0,72	12,2	13
	B_3	0,67	7,4	8		B_2	0,60	10,8	11
	B_4	0,72	7,9	8		B_3	0,67	12,1	12
12	B_2	0,60	7,2	8		B_4	0,72	12,9	13
	B_3	0,67	8,0	8		B_2	0,60	10,8	11
	B_4	0,72	8,6	9		B_3	0,67	12,1	12
13	B_2	0,60	7,8	8		B_4	0,72	12,9	13
	B_3	0,67	8,7	9		B_2	0,60	10,8	11
	B_4	0,72	9,4	10		B_3	0,67	12,1	12

№ швов по табл. 16	Тип шва	$P = HR_L$ в кг/см	Толщина листа в мм	К. п. д. шва φ	Вес 1 листа		Стоимость 1 обработанного листа	
					Абсолютный вес в кг	% соотношения	Абсолютная стоимость в руб.	% соотношения
27	L_3	1118	11	0,752	777	100,0	129	100,0
26	B_2	1116	11	0,751	816	105,2	131	106,5
28	B_3	1146	10	0,849	747	96,2	123	100,0
25	B_4	1111	9	0,913	686	88,3	115	93,6

рядные швы впритык (B_2) и трехрядные швы внахлестку (L_3) в отношении к. п. д. почти равноценны между собой и приводят к одинаковой толщине листов. Однако из-за наличия накладок швы B_2 приводят к большей затрате металла (примерно на 5%). Поэтому швы B_2 не могут быть рекомендованы и применяются в исключительных случаях, либо когда желательно полностью использовать по длине стандартные листы, либо при наличии тех или иных конструктивных соображений.

Более выгодными, чем швы L_3 , являются швы B_3 , а самыми выгодными — швы B_4 .

По данным последней таблицы среднюю экономию в весе металла от применения швов с неравными накладками можно считать 8% в пределах тех поясов резервуаров, где они имеют место. Учитывая же, что эти швы применяются в верхних и нижних поясах, составляющих примерно 0,35 от веса всего резервуара, общая экономия металла получается около 2,5%. Вследствие же несомненного удорожания обработки резервуара при применении швов с неравными накладками экономия в денежном отношении будет несколько меньше и составит примерно 1,5% от стоимости всего резервуара.

Разумеется, что выведенные нормы экономии от применения швов с неравными накладками относятся только к резервуару средних и крупных емкостей (свыше 3000 м³), где применяются эти швы.

Итак, швы с неравными накладками дают довольно значительную экономию металла при постройке резервуаров; этим и объясняется их широкое применение не только в нашей резервуарной практике, но и в практике резервуаростроения Германии и Америки.

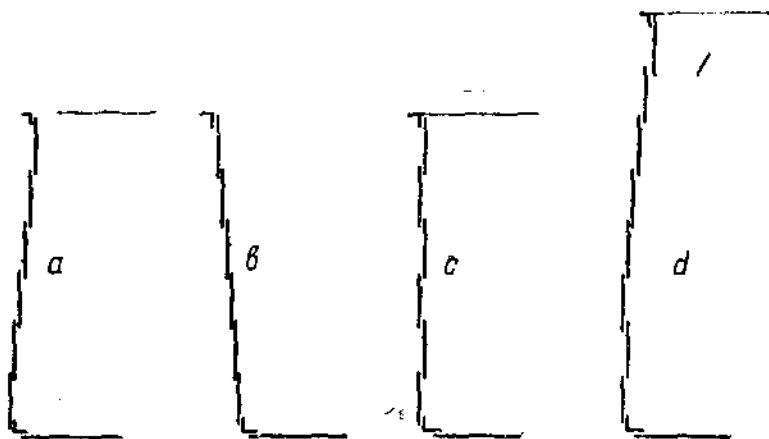
Что касается предела применимости швов внахлестку и швов впритык, то для листов толщиной до 7 мм более конструктивны швы первого типа; свыше этой толщины следует применять швы впритык с неравными накладками.

§ 4. Конструкция корпусов вертикальных резервуаров

Под корпусом резервуара разумеются его основные части, состоящие из листового железа (стенки, дно и настил крыши). Сопряжение дна и стенок производится помощью так называемого нижнего кольца, сопряжение крыши и стенок — помощью верхнего кольца. Кольца делаются из углового железа.

Основными признаками хорошо спроектированного резервуара (помимо минимального веса при заданном объеме) является минимальное количество отходов (обрезков листов) и минимум трудоемкости в обработке: резка, изготовление отверстий, клепка, чеканка и пр.

С этой точки зрения важно не только определить правильное соотношение между диаметром и высотой резервуара, но и установить правильную разбивку листов и швов корпуса, или, как принято говорить, сделать правильный «раскрой». Эти условия достигаются прежде всего устройством стенок резервуара из целых листов; для этого ширина стандартных листов должна укладываться целое число раз (без остатка) по высоте резервуара, длина же листов должна также уложиться по окружности поперечного сечения его стенок с учетом, разумеется, перекрышек (при швах внахлестку).



Фиг. 76

Эти условия не всегда удается, однако, выдержать, в особенности в резервуарах небольших емкостей (до 1000 м^3); во всяком случае, полученные при этом обрезки листов должны быть использованы для днища, а получающиеся отходы не должны превосходить 5—7% от веса последнего. Отходы в крышах, ввиду сложности их геометрической формы (конус или сфера), могут достигать 10—12% от их веса.

В стенках вертикальных цилиндрических резервуаров листы располагаются по длине вдоль окружности поперечного сечения и по ширине вдоль высоты резервуара. Ряд листов стенок, расположенный по одной горизонтали и замкнутый в кольцо, носит название пояса. Взаимное расположение поясов резервуара может быть устроено по одной из нижеприведенных схем:

1. Телескопическое расположение поясов, при котором каждый последующий пояс (считая снизу вверх) отступает от каждого предыдущего внутрь (фиг. 76a) или наружу (фиг. 76б) на его толщину; при производстве чеканки снаружи резервуара, как это принято у нас, наиболее целесообразна схема расположения поясов согласно фиг. 76a, дающая возможность либо чеканить кольцевые (горизонтальные) швы (сверху вниз); эта схема и предусмотрена ТУ для резервуаров с разной толщиной поясов в числе последних до шести включительно. При производстве чеканки

Таблица 16

для подбора сечений стенок и конструкций швов вертикальных цилиндрических резервуаров
Материал — Ст3сп, Ст3лон

Пробитые и пересеченные заклепочные отверстия

№ по пор.	$P = H \gamma$ в кг/см	Толщина листов в мм	Толщина накладки в мм	Диаметр заклепоч. в мм	Диаметр отвер-стий d_p в мм	Тип шва	Половая ширина ли-ста с учетом доу-полнения в мм	Кромка а в мм	Теоретическая ширина листа $B=A-2a$ в мм	Конечной шав t_0 в мм	Размер $C=B-2t_0$ в мм	Кольч. листов в швах в мм	Шпан в мм	Шпан T в мм	K_{sp} в кг/см ²	K_{cm} в кг/см ²	K в кг/см ²	В. п. шва в
1	397	4	—	9,5	11	I_2	1395	$16 + \frac{20}{2}$	1363	36	1291	84	37,37	—	561	—	1350	0,734
2	397	4	—	9,5	10	I_3	1395	$16 + \frac{20}{2}$	1363	36	1291	84	37,37	—	640	—	1350	0,734
3	489	5	—	11,5	12	I_2	1395	$20 + \frac{23}{2}$	1355	43	1269	29	43,73	—	947	—	1350	0,724
4	502	5	—	11,5	12	I_3	1395	$20 + \frac{23}{2}$	1355	43	1269	27	47,09	—	698	—	1350	0,743
5	582	6	—	13,5	14	I_2	1495	$23 + \frac{27}{2}$	1449	50	1349	27	49,96	—	945	—	1350	0,718
6	608	6	—	13,5	14	I_3	1495	$23 + \frac{27}{2}$	1449	50	1349	24	56,20	—	740	—	1350	0,750
7	611	6	5	11,5	12	B_1	1495	$20 + \frac{23}{2}$	1455	43	1369	28	48,89	—	860	2075	1250	0,751
8	650	7	—	13,5	14	I_2	1495	$23 + \frac{27}{2}$	1449	50	1349	30	44,96	—	930	—	1350	0,687
9	709	7	5	13,5	14	B_2	1495	$23 + \frac{27}{2}$	1449	50	1349	24	56,50	—	647	2034	1350	0,750
10	719	7	—	13,5	14	I_3	1495	$23 + \frac{27}{2}$	1449	50	1349	23	58,65	—	913	—	1350	0,760
11	746	8	—	16,5	17	I_2	1495	$27 + \frac{33}{2}$	1411	63	1321	24	55,04	—	934	—	1350	0,690

13	923	9	—	16,5	17	B_2	1495	$\frac{27+27}{27}$	$\frac{1441}{1445}$	50	1349	24	56,20	—	740	2034	1350	0,749
14	929	8	—	16,5	17	L_2	1495	$\frac{27+33}{27}$	$\frac{1441}{1435}$	60	1321	25	52,84	—	959	—	1350	0,677
15	917	9	—	16,5	17	L_1	1495	$\frac{27+33}{27}$	$\frac{1441}{1435}$	60	1321	18	73,98	—	634	—	1350	0,767
16	917	9	6	16,5	17	L_3	1495	$\frac{27+33}{27}$	$\frac{1441}{1435}$	60	1321	19	69,52	—	937	—	1350	0,754
17	925	8	6	19,5	14	B_3	1495	$\frac{23+27}{23}$	$\frac{1449}{1445}$	50	1349	19	69,52	—	702	2083	1350	0,754
18	930	10	—	19	20	L_2	1495	$\frac{33+37}{33}$	$\frac{1429}{1425}$	68	1289	20	64,45	—	954	—	1350	0,689
19	977	11	—	19	20	L_2	1495	$\frac{33+37}{33}$	$\frac{1429}{1425}$	70	1289	22	58,59	—	911	—	1350	0,658
20	989	8	6	13,5	14	B_1	1495	$\frac{23+27}{23}$	$\frac{1435}{1435}$	48	1349	21	64,23	192,49	825	1890	1350	0,915
21	1019	10	6	16,5	17	B_2	1495	$\frac{27+33}{27}$	$\frac{1441}{1435}$	60	1321	19	62,52	—	780	2085	1350	0,755
22	1031	9	6	16,5	17	B_1	1495	$\frac{27+33}{27}$	$\frac{1435}{1435}$	57	1321	19	62,52	130,04	701	1873	1350	0,849
23	1035	10	—	19	20	L_3	1495	$\frac{33+37}{33}$	$\frac{1429}{1425}$	68	1289	15	85,93	—	944	—	1350	0,766
24	1041	12	—	19	20	L_2	1495	$\frac{33+37}{33}$	$\frac{1429}{1425}$	70	1289	23	56,04	—	929	—	1350	0,642
25	1111	9	7	16,5	17	B_1	1495	$\frac{27+33}{27}$	$\frac{1435}{1435}$	57	1321	17	77,70	233,10	760	1880	1350	0,913
26	1116	11	7	19	20	B_2	1495	$\frac{33+37}{33}$	$\frac{1429}{1425}$	68	1289	16	80,56	—	716	2043	1350	0,751
27	1118	11	—	19	20	L_3	1495	$\frac{33+37}{33}$	$\frac{1429}{1425}$	68	1289	16	80,56	—	954	—	1350	0,752
28	1146	10	7	16,5	17	B_3	1495	$\frac{27+33}{27}$	$\frac{1441}{1435}$	57	1321	19	62,52	139,04	780	1874	1350	0,849

№ по пор.	$P=H \gamma$ в кг/см	Полная длина l в мм	Полная высота в мм	Диаметр зацепов d в мм	Диаметр отср- тки d_0 в мм	Тип шва	Полная ширина ахты с учетом до- пуска в мм	Кромка в в мм	Теоретическая ширина ахты $B=A-2a$ в мм	Концевой шат t_0 в мм	Размер $C=B-2t_0$ в мм	Кол-во, лежащий в пределах шпунца в мм	Шаг t в мм	Шаг T в мм	k_{cp} в кг/см ²	$k_{из}$ в кг/см ²	k в кг/см ²	К. и. л. шва в
29	1192	12	—	19	20	L_3	1495	$\frac{33}{33+37}$	$\frac{1429}{1425}$	70	1289	17	75,92	—	859	—	1350	0,735
30	1217	12	8	19	20	B_2	1495	$\frac{33}{33+37}$	$\frac{1429}{1425}$	68	1289	16	80,56	—	780	2043	1350	0,751
31	1235	10	8	16,5	17	B_4	1495	$\frac{37}{37+38}$	$\frac{1441}{1435}$	60	1321	17	77,70	233,10	845	1881	1350	0,914
32	1281	11	8	19	20	B_3	1495	$\frac{38}{33+37}$	$\frac{1429}{1425}$	70	1289	15	85,93	171,86	778	2001	1350	0,862
33	1319	18	8	19	20	B_2	1490	$\frac{33}{33+37}$	$\frac{1424}{1420}$	67,5	1289	16	80,56	—	845	2043	1350	0,751
34	1359	11	8	19	20	B_4	1495	$\frac{38}{33+37}$	$\frac{1429}{1425}$	70	1289	14	92,07	276,21	796	1895	1350	0,915
35	1397	12	8	19	20	B_3	1495	$\frac{38}{33+37}$	$\frac{1429}{1425}$	68	1289	15	85,93	171,86	849	2000	1350	0,862
36	1420	14	9	19	20	B_2	1490	$\frac{33}{33+37}$	$\frac{1424}{1420}$	67,5	1289	16	80,36	—	911	2043	1350	0,751
37	1484	12	9	19	20	B_4	1495	$\frac{38}{33+37}$	$\frac{1429}{1425}$	70	1289	14	92,07	276,21	869	1897	1350	0,915
38	1510	15	9	22	23	B_3	1490	$\frac{33}{37+42}$	$\frac{1416}{1411}$	74	1268	14	90,57	—	823	1983	1350	0,745
39	1514	13	9	19	20	B_3	1490	$\frac{38}{33+37}$	$\frac{1424}{1420}$	67,5	1289	15	85,93	171,86	920	2001	1350	0,862
40	1564	14	10	19	20	B_3	1490	$\frac{33}{33+37}$	$\frac{1424}{1420}$	67,5	1289	17	75,82	151,64	838	1594	1350	0,827

41	1607	13	10	19	20	B_1	1490	$\frac{33}{33+37}$	$\frac{1424}{1420}$	67,5	1289	14	92,07	276,21	941	1896	1350	0,915
42	1611	16	10	22	23	B_2	1490	$\frac{37}{37+42}$	$\frac{1416}{1411}$	74	1268	14	90,57	—	878	1983	1350	0,745
43	1710	14	10	19	20	D_1	1490	$\frac{33}{33+37}$	$\frac{1424}{1420}$	67,5	1289	15	85,93	237,49	935	1749	1350	0,904
44	1716	17	11	25	26	B_2	1490	$\frac{42}{42}$	$\frac{1406}{1406}$	84	1238	12	103,16	—	833	2003	1350	0,747
45	1740	15	10	22	23	B_3	1490	$\frac{37}{37+42}$	$\frac{1416}{1411}$	74	1268	13	97,53	195,06	907	1937	1350	0,839
46	1767	16	11	22	23	B_3	1490	$\frac{37}{37+42}$	$\frac{1416}{1411}$	74	1268	15	84,53	169,06	800	1624	1350	0,818
47	1817	18	11	25	26	B_2	1490	$\frac{42}{42}$	$\frac{1406}{1406}$	84	1238	12	103,16	—	882	2003	1350	0,747
48	1854	15	11	22	23	D_1	1490	$\frac{37}{37+42}$	$\frac{1416}{1411}$	74	1268	12	103,66	316,98	943	1892	1350	0,915
49	1922	16	12	22	23	B_1	1490	$\frac{37}{37+42}$	$\frac{1416}{1411}$	74	1268	14	90,57	271,71	897	1576	1350	0,898
50	1984	17	12	25	26	B_3	1490	$\frac{42}{42}$	$\frac{1406}{1406}$	84	1238	11	112,54	225,08	934	2020	1350	0,864
51	1987	18	12	25	26	B_3	1490	$\frac{42}{42}$	$\frac{1406}{1406}$	84	1238	13	85,23	190,46	792	1617	1350	0,817
52	2079	17	13	25	26	B_1	1490	$\frac{42}{42}$	$\frac{1406}{1406}$	84	1238	11	112,54	337,52	881	1764	1350	0,905
53	2202	18	13	25	26	B_1	1490	$\frac{42}{42}$	$\frac{1406}{1406}$	84	1238	11	112,54	337,62	933	1765	1350	0,905

Примечания. 1. Буквой L обозначены швы выхлестку, буквой B — швы впритык. Значие у букв определяет количество рядов, например: L_2 обозначает трехрядный шов выхлестку, B_4 — четырехрядный шов впритык.

2. Диаметр заклепок горизонтальных швов тот же, что и вертикальных швов выхлесточного пояса.

3. Значения $2a$, B , $2t_0$ и числители дроби (над чертой) — для случая одинакового диаметра заклепок в верхней и нижней горизонтальной (кольцевой) шве рассматриваемого пояса; значения этих величин в знаменателе дроби (под чертой) — для случая разных диаметров заклепок в этих швах (диаметр заклепок нижнего шва больше диаметра заклепок верхнего шва).

4. Значения величин a , B , C , t_0 согласно фиг. 74.

5. Количество делений в пределах размера C назначено таким образом, чтобы разбег заклепок была симметрична по ширине листа; это достигается условием — для шва B_2 количество делений равно $2m+1$, для шва B_1 количество делений равно $3n$, для $3n-1$, где n — целое число.

6. В швах L_2 , L_3 , B_2 напряжение железа по всем заклепочным рядам одинаково; в швах B_3 и B_1 максимальное напряжение по второму шву (считая от краев в середине).

7. Насчитанные черным в графе ϵ по гор. — рекомендуемые швы.

с внутренней стороны резервуара более целесообразно расположение поясов согласно схеме фиг. 76б.

2. Ступенчатое расположение поясов (фиг. 76с), при котором каждый последующий пояс попеременно отстает от предыдущего внутрь и наружу резервуара. В отношении удобства чеканки эта схема расположения поясов имеет существенные недостатки, так как половина кольцевых швов должна чеканиться снизу вверх. Это расположение поясов принято, однако, для резервуаров с одинаковой толщиной стенок ввиду того, что при этом получается минимальное количество шаблонов листов стенок (два шаблона при отсутствии вставок в поясах и четыре при наличии вставок), что значительно удешевляет разметку.

3. Смешанное расположение поясов (фиг. 76д), представляющее собой комбинацию телескопического и ступенчатого расположения. Эта схема расположения поясов, применяющаяся в высоких резервуарах (с числом поясов свыше шести), с одной стороны, преследует удобство чеканки, с другой, — уменьшение обрезки листов по длине. В этом случае верхние шесть поясов располагаются в телескопическом порядке, прочие — в ступенчатом.

Для стенок резервуаров емкостью до 10 000 м³ применяется листовое железо толщиной 4—18 мм.

Швы, соединяющие листы в пределах одного пояса, так называемые вертикальные швы (по образующей цилиндра), испытывающие напряжение от давления жидкости, относятся к разряду прочно-плотных швов и делаются либо внахлестку (L_2 , L_3), либо впритык (B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , B_5). Горизонтальные же кольцевые швы — по параллельному кругу цилиндра — напаяны весьма незначительно, только от веса выходящих конструкций и снега на кровле. Эти швы относятся к разряду только плотных швов и, как правило, делаются однорядными внахлестку (L_1). К этой же категории швов относятся и швы в сопряжении стенок резервуара с дном и крышей (по нижнему и верхнему кольцу).

В днищах листы располагаются так, что стыки по ширине одного ряда листов (поперечные швы) приходятся посредине длины листов смежного с ними ряда — наподобие кирпичной кладки (фиг. 85). Кромки листов, примыкающие к нижнему кольцу, вырезаются по окружности последнего. Раскрой днища следует делать таким образом, чтобы разметка получалась симметрично по четырем его квадрантам.

Толщина листов днища, применяемая в практике нашего резервуаростроения (для резервуаров емкостью до 10 000 м³), следующая:

при диаметре резервуара	до 10 м	4 мм
» » »	от 10 до 21 »	5 »
» » »	» 21 » 35 »	6 »

Для резервуаров диаметром свыше 25 м листы, примыкающие к нижнему кольцу (так называемые окрайки), принято делать в форме сегментов из железа толщиной 8 мм (фиг. 87). Все швы днища — плотные, однорядные внахлестку (L_1).

В зависимости от жидкости, заливаемой в резервуар, крыша последнего устраивается негерметической или герметической, т. е. проницаемой или непроницаемой для продуктов испарения жидкости (газов). Крыши резервуаров для хранения мазута и растительных масел могут быть негерметическими; настил этих крыш состоит из кровельного железа по дере-

ванной обрешетке. Крыши эти обыкновенно коническими на радиально расположенных деревянных стропильных ногах (фиг. 114). Резервуары же для хранения легко испаряющихся продуктов (бензин, керосин, сырая нефть) должны быть герметическими, т. е. обладать плотными швами. Настил этих крыш обыкновенно делается из листового железа диаметром 2,5—3 мм. Геометрическая форма этих крыш (в зависимости от формы стропил) либо плоская с небольшим уклоном ($\frac{1}{20}$ радиуса), либо коническая (уклон $\frac{1}{8}$ радиуса), либо сферическая.

Рабочие чертежи крыш, имеющих пространственную форму, делаются путем развертки на плоскую поверхность. Взаимное расположение листов в развертке крыши аналогично таковому в днищах. В конических крышах должна быть соблюдена симметрия в разметке относительно оси, совпадающей с диаметром, проходящим через середину выреза развернутого конуса (фиг. 79).

Кромки швов крыш при толщине настила 2,5—3 мм не чеканятся, и плотность швов (всегда однорядных внахлестку) достигается кленкой через льняную прокладку шириной 30—35 мм, пропитанную свинцовым суриком.

Верхний кольцевой угольник, соединяющий стенки резервуара с крышей, располагается либо с наружной (фиг. 81), либо с внутренней стороны (фиг. 84) резервуара (в зависимости от конструкции покрытия).

Принятые у нас размеры верхнего угольника следующие:

при диаметре резервуара	до 9 м	50 × 50 × 6
» » »	от 9 » 21 »	65 × 65 × 8
» » »	» 21 » 35 »	75 × 75 × 10

Нижний кольцевой угольник устанавливается обыкновенно внутри резервуара (фиг. 81, 84). В нашей практике приняты следующие размеры нижнего угольника:

при диаметре резервуара	до 4 м	65 × 65 × 6
» » »	от 4 » 9 »	75 × 75 × 8
» » »	» 9 » 17 »	75 × 75 × 10
» » »	» 17 » 21 »	90 × 90 × 12
» » »	» 21 » 26 »	100 × 100 × 12
» » »	» 26 » 35 »	100 × 100 × 16

Конструкцию корпусов и метод составления рабочих чертежей иллюстрируем примерами двух резервуаров емкостью 630 и 4685 м³, расчет коих изложен в § 3 настоящей главы.

Пример 1. Резервуар емкостью 630 м³ (см. эскиз на фиг. 72).

На фиг. 77 изображены стенки резервуара емкостью 630 м³, диаметром 9860 мм, высотой 8263 мм. Стенки резервуара — из шести поясов, толщиной 4 мм, расположенных по ступенчатой схеме. Каждый пояс состоит из семи листов (заготовительный размер 4200 × 1400 × 4) и одного вставка полулиста.

Все составные части каждого пояса (листы и вставка) вынесены отдельно в развернутом виде с обозначением всех деталей разметочных размеров. Развертка каждого пояса производится в соответствии с его диаметром и нейтралом листов. Все вертикальные швы стенок — двухрядные внахлестку; все горизонтальные (кольцевые) — однорядные внахлестку.

Разбивка заклепок в кольцевых швах должна быть такова, чтобы шаг

всегда равнялся (примерно) тройному диаметру отверстий, укладываясь целое число раз, как в целых листах, так и во вставках. При одинаковых диаметрах заклепок во всех швах это не представляет никакой трудности, и длина вставка при этом берется кратной величине шага, принятого в кольцевых швах целых листов.

При разных же диаметрах заклепок в кольцевых швах, как это имеет место в рассматриваемом резервуаре (нижний шов I пояса имеет заклепочные отверстия 14 мм, прочие — 10 мм), разбивка заклепок много сложнее.

Количество делений по окружности пояса при отверстиях 14 мм — n_1 и количество делений n_2 при отверстиях 10 мм — должны удовлетворять следующему отношению:

$$n_1 : n_2 = 3 \cdot 10 : 3 \cdot 14$$

или

$$n_1 : n_2 = 10 : 14$$

или

$$n_1 : n_2 = 5 : 7 = 0,72,$$

т. е. при наличии вставок и разных диаметрах заклепочных отверстий в двух смежных кольцевых швах пояса резервуара количество делений по окружности пояса обратно пропорционально диаметрам отверстий. Естественно, что выходящие от этого отношения не имеют существенного значения и стражуются только на том, что величина шага несколько отступает от тройного диаметра отверстий заклепок в сторону увеличения или уменьшения. Такое отступление неизбежно, поскольку при проектировании горизонтальных швов конструктор всегда связан с заданной длиной стандартных листов.

В рассматриваемом резервуаре при диаметре отверстий заклепок 14 мм по окружности пояса принято 786 делений; при диаметре отверстий 10 мм — 1048 делений; следовательно, в этом случае:

$$n_1 : n_2 = 786 : 1048 = 3 : 4 = 0,75.$$

Отступление от теоретического соотношения совершенно незначительно (0,75 вместо 0,72).

Естественно, что отношение делений, принятое для всей окружности, остается и для отдельных ее частей; действительно, в пределах листа получается отношение:

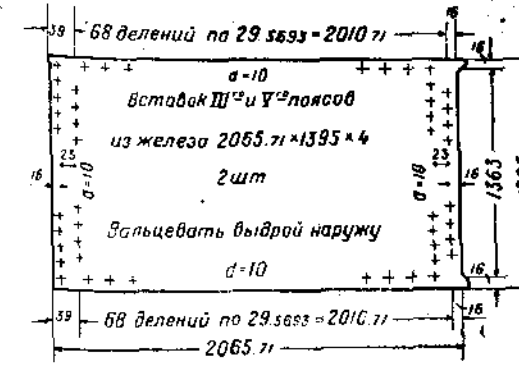
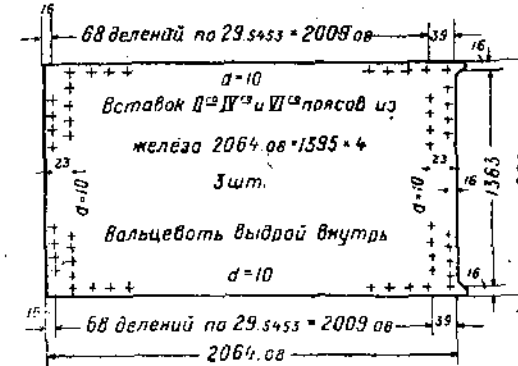
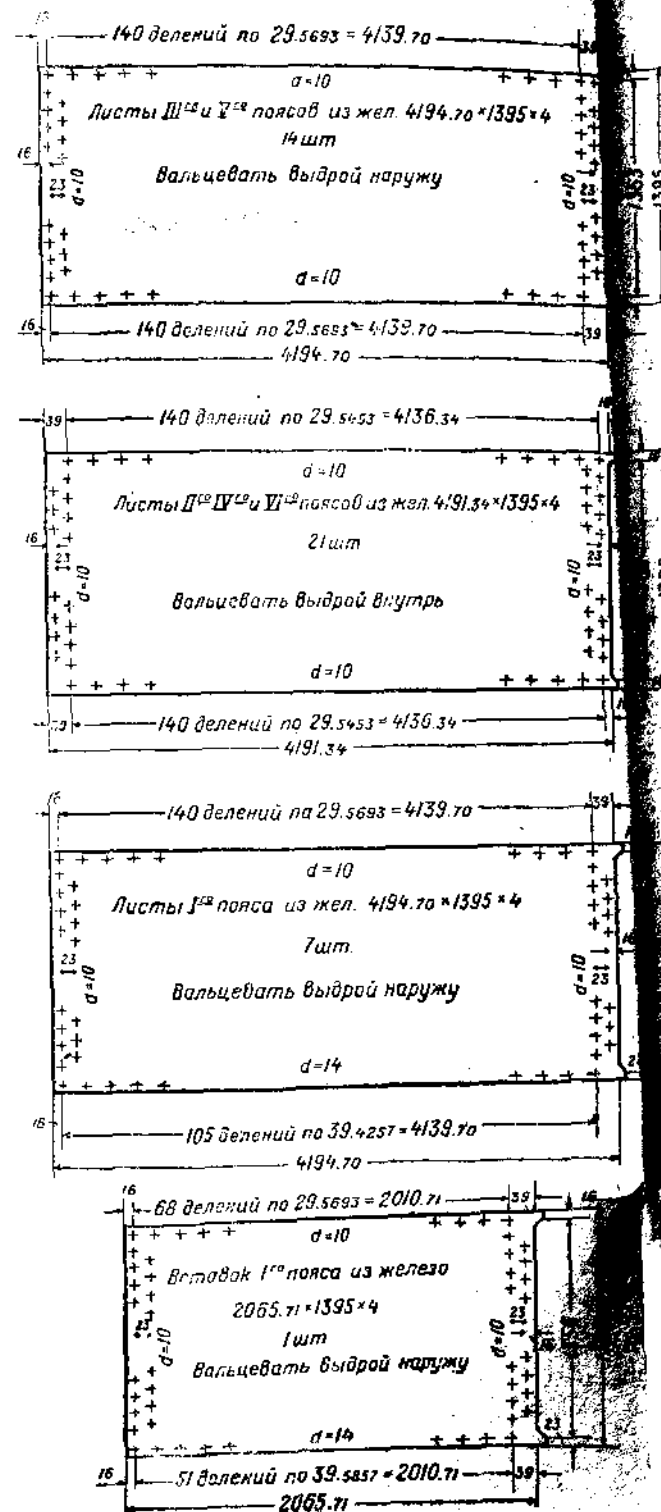
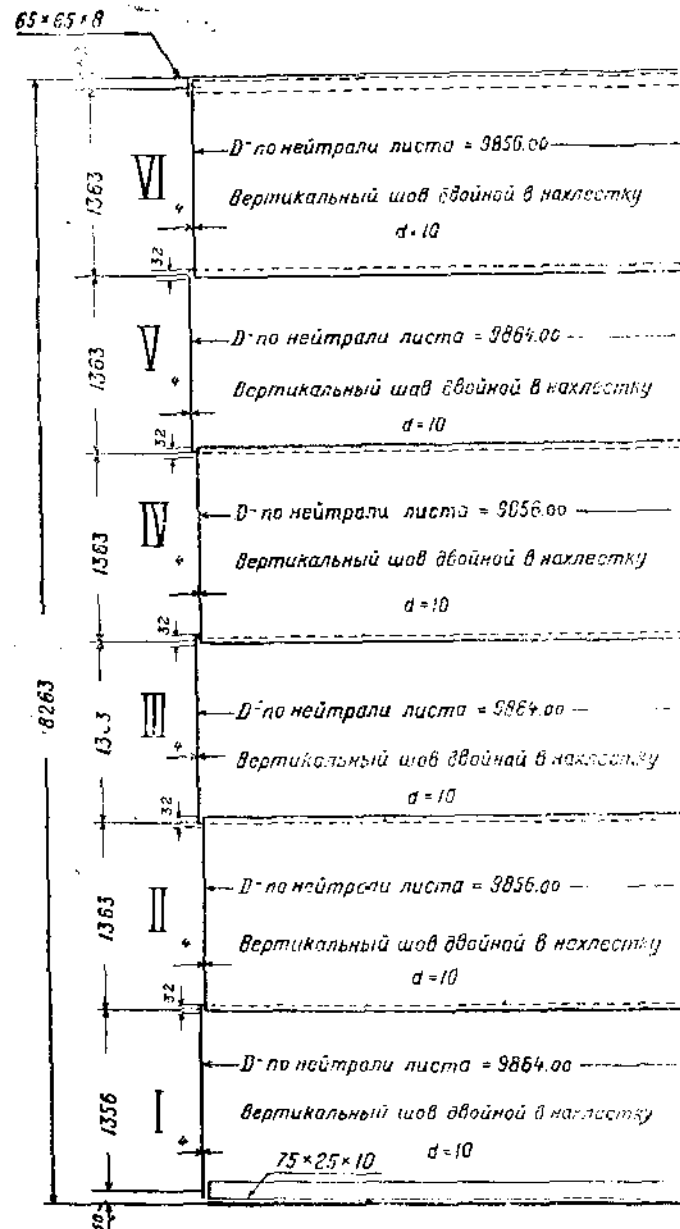
$$105 : 140 = 3 : 4 = 0,75;$$

в пределах же вставка:

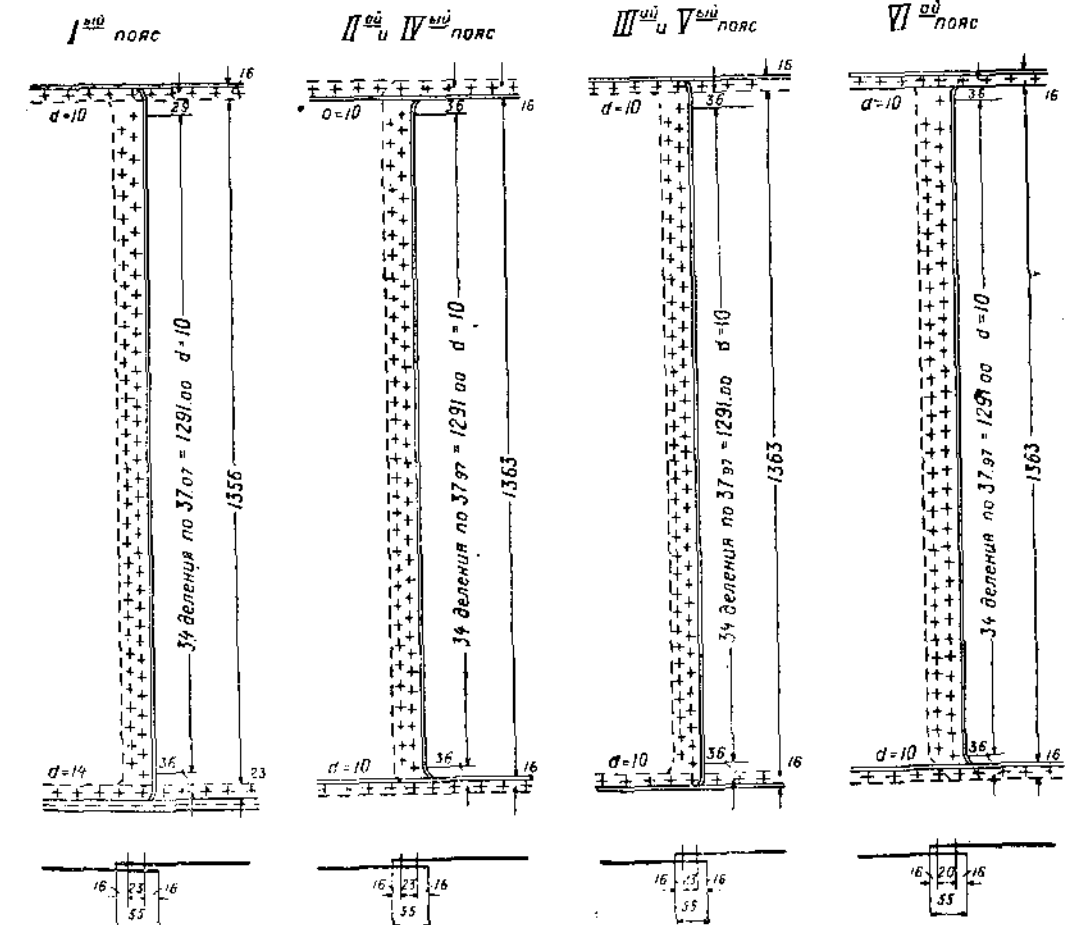
$$51 : 68 = 3 : 4 = 0,75.$$

Все листы полов на чертеже изображены со стороны размещения и пробивки отверстий; надписи же на листах «вальцевать выдрой наружу» и «вальцевать выдрой внутрь» указывают направление вальцовки (изгиба листов); «выдрой» называется заусенец, получающийся при пробивке дыры. Направление вальцовки указывается таким образом, чтобы при сборке и клевке резервуара плоскости сопряжения листов были совершенно гладкими и заусенец (выдра), получающийся при пробивке, оказался бы на обратной стороне. Так, например, в рассматриваемом резервуаре разметка и пробивка листов I пояса производится с внутренней стороны резервуара; вальцовка же (дуга листов) производится в сторону обрат-

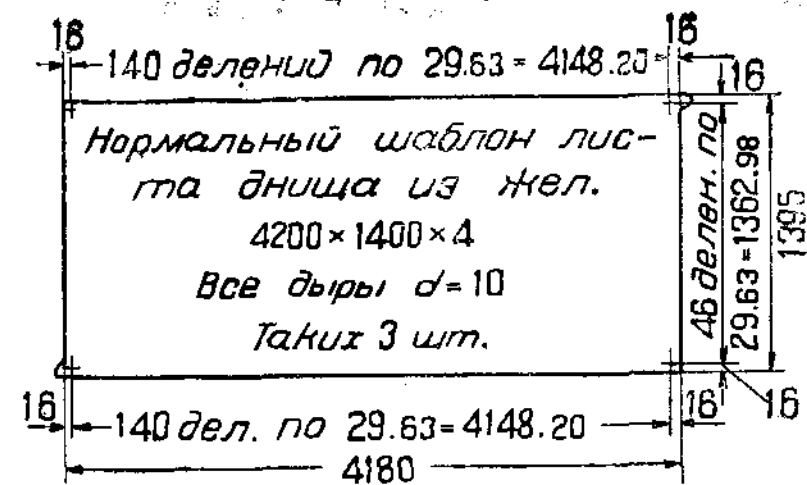
Стенки резервуара емкостью 630 м³



Стыки листов



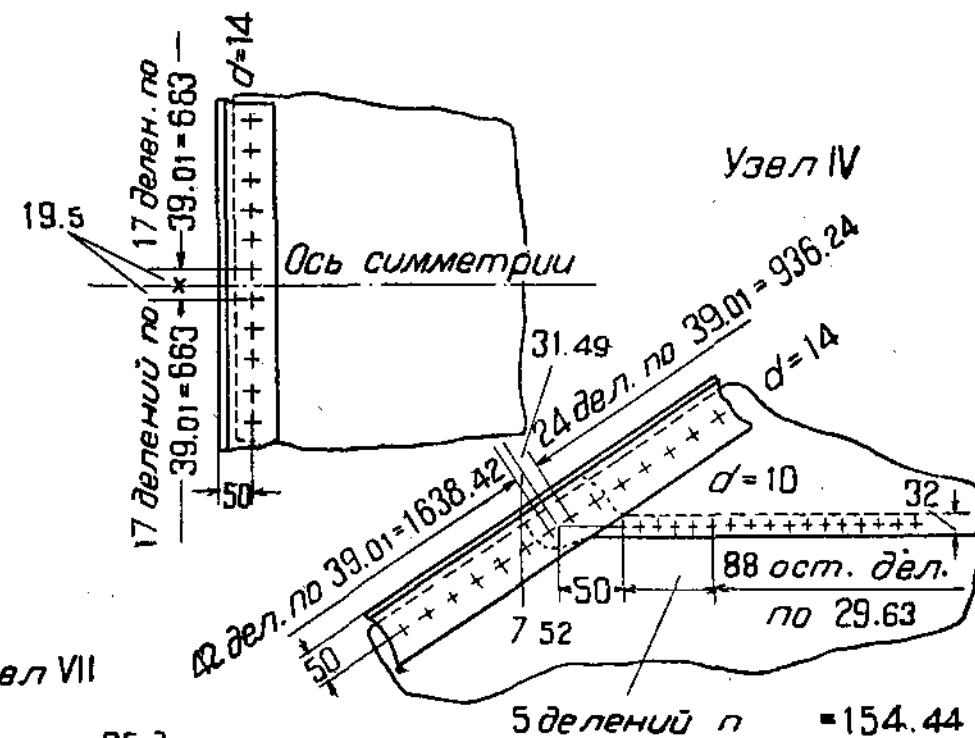
Все отверстия по кольцу $d=14$
 — внутри коль-
 —ца $d=10$


$$4200 \times 1400 \times 4$$

Все дыры $d=10$

Таких 3 шт.

Узел 1



Узел IV

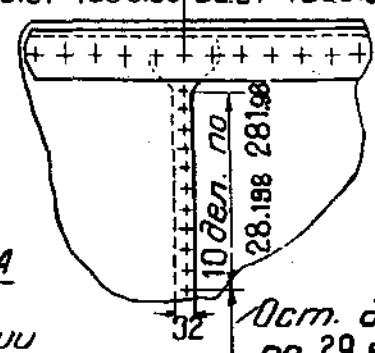
Ось симметрии

31.49
Зел. по 33.
d=14

$$5 \text{ делений } n = 154.44$$

Узел VII

35 дел. по	35 дел. по
39.01=1365.35	39.01=1385.35



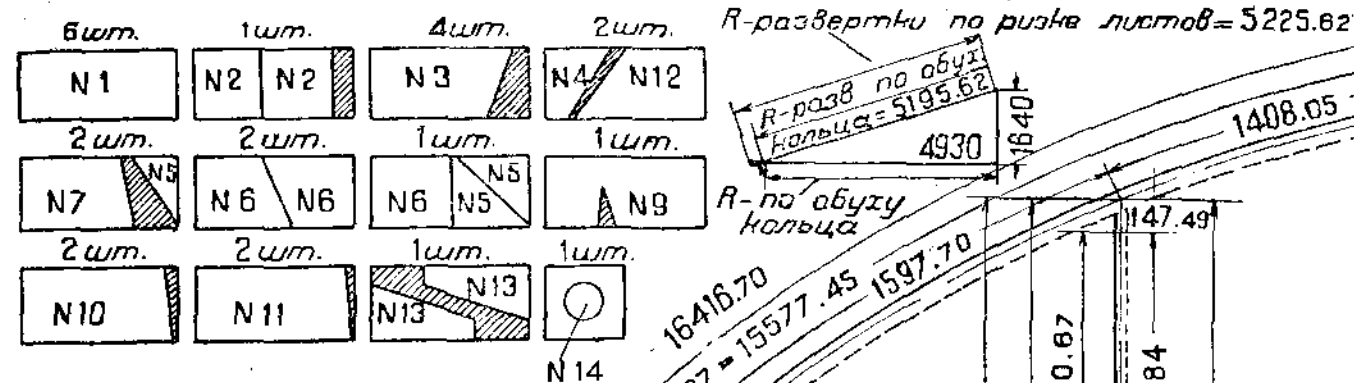
Разрез днаща по оси А-А

3 1 3

Раскрой листов крыши Листы 2800x1400x2.5

Схема крыши

Крыша резервуара емк. 630 м³



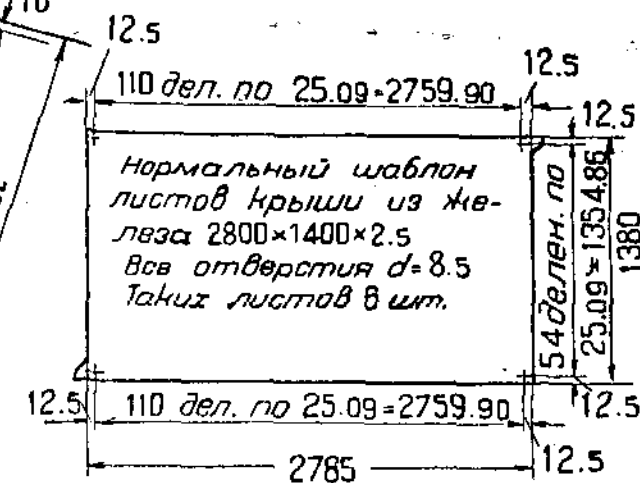
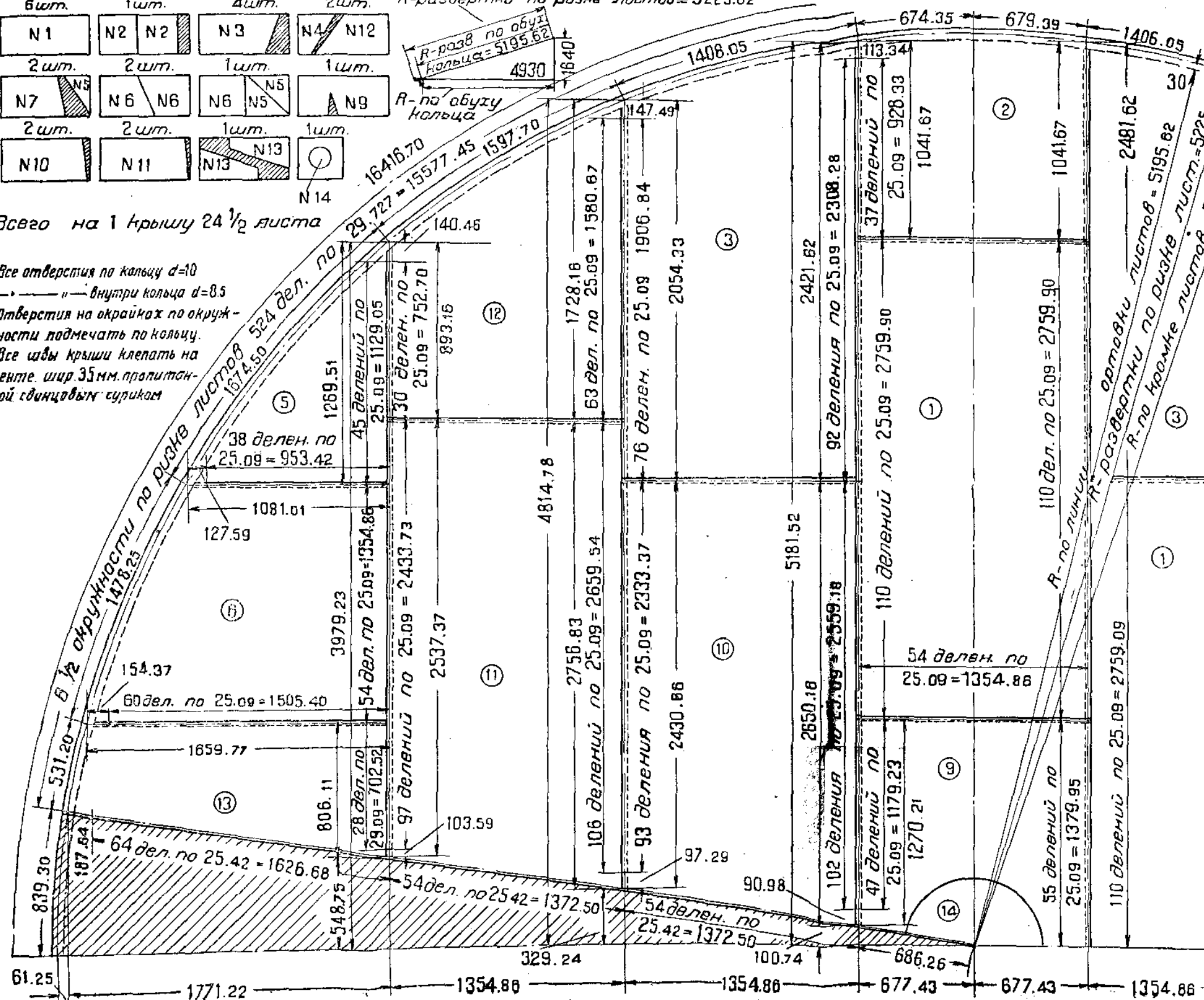
Всего на 1 крышу 24 1/2 листа

Все отверстия по кольцу d=10

— внутри кольца d=8.5

Отверстия на крайках по окружности подмечать по кольцу.

Все швы крыши клепать на ленте шир 35 мм. пропитанной гудроном сурьмой



Из листа жел. 2800x1400x2.5; 1 шт.

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

1380

54 дел. по 25.09 = 1354.86

1380

12.5

2785

12.5

110 дел. по 25.09 = 2759.90

12.5

ную и выдры окажутся на противоположной, наружной (выпуклой), стороне, что соответствует надписи: «вальцевать выдрами наружу». Во II поясе разметка и проб в а отверстий заклепок производится с наружной стороны; вальцовка же — во внутреннюю сторону, и выдры после сборки окажутся на внутренней (вогнутой) стороне, что соответствует надписи «вальцевать выдрой внутрь». При сборке резервуара заусенцы получатся на противоположных сторонах и поверхности соприкосновения листов по кольцевым швам будут гладкими и плотно прилегающими друг к другу.

Особое внимание надлежит обращать на правильное расположение ласок, отгибаемых в стыке тех листов в среднем (заклатом) листе. Положение ласок зависит от общего расположения заклепок и кромок листов в соответствии с способом изгиба листов, изложенным выше, и деталями вертикальных швов стенок резервуара (фиг. 77). Раскраивая наружные пояса описываемого резервуара с вогнутой стороны и внутреннее с выпуклой стороны, положение ласок необходимо изобразить в верхнем и нижнем правом углах каждого листа.

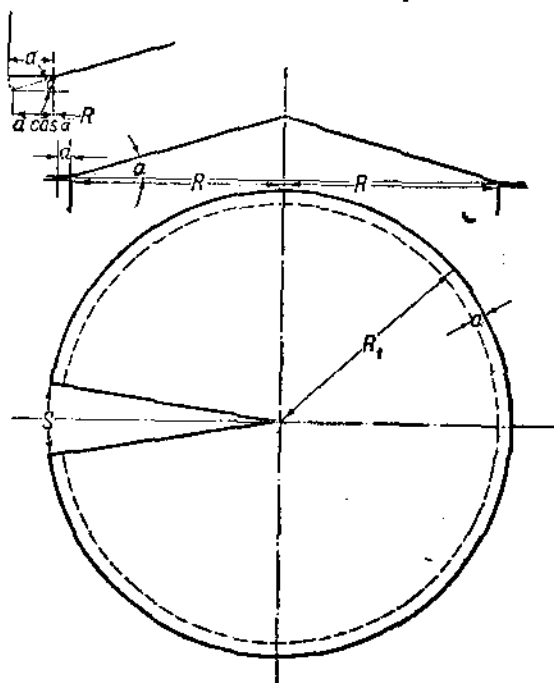
На фиг. 78 изображено днище резервуара, спроектированное из листов $4200 \times 1400 \times 4$ с раскромом и всеми деталями. Особое внимание нужно обращать на разбивку заклепок в вырезных периферийных листах (окройках) в местах примыкания швов к нижнему кольцевому угольнику — узлы I—VII. Эти места представляют наиболее трудную часть при проектировании и с точки зрения плотности наиболее уязвимую часть днища. Для правильного определения разбивки заклепок в узлах I—VII необходимо последние предварительно вычертить в натуральную величину.

На фиг. 78 указана также детальная разбивка заклепок в окройках по окружности нижнего кольца. Во многих предприятиях из опасения угона отверстий этих заклепок во время сборки предпочитают разметку их не указывать, подмечая их по месту по нижнему кольцу.

Ласки сжатых листов расположены по диагонали, что соответствует общей схеме разбивки листов в днище.

Маркировка листов в схеме раскроя совпадает с маркировкой соответствующих ей листов в чертеже днища.

На фиг. 79 изображен рабочий чертеж конической крыши, выкроенной



Фиг. 80

из листов $2800 \times 1400 \times 2,5$. Стропила под этот настил изображены на фиг. 112, 113.

Отдельно вынесены детали нормального шаблона листа, центрального листа с вырезом для опорного кольца стропил и круглого листа, закрывающего этот вырез.

Ввиду незначительной толщины листов и связанным с этим короблением последних, а также ввиду сложности геометрической формы крыши (конус) все отверстия на окрайках по окружности следует подмечать в процессе сборки по месту — по верхнему кольцевому угольнику.

Ниже приводим метод получения основных разметочных размеров, связанных с разверткой конуса. На фиг. 80 схематически изображен конус крыши резервуара с отбортовкой для присоединения к горизонтальной полке верхнего кольцевого угольника. После развертки конус превращается в круг с вырезанным сектором.

Вводим следующие обозначения:

R — радиус резервуара по обуху верхнего кольца,

a — риска горизонтальной полки по обуху верхнего кольца,

R_1 — радиус развертки окружности крыши, соответствующий риске горизонтальной полки верхнего кольца,

s — вырез дуги развертки окружности крыши, соответствующий риске горизонтальной полки верхнего кольца,

α — угол наклона крыш (образующей конуса) к горизонту.

Тогда согласно фиг. 80:

$$R_1 = \frac{R}{\cos \alpha} + a.$$

Длина окружности, соответствующая этому радиусу:

$$2\pi \left(\frac{R}{\cos \alpha} + a \right);$$

$$s = 2\pi \left(\frac{R}{\cos \alpha} + a \right) - (R + a \cos \alpha).$$

В рассматриваемой нами крыше (фиг. 79):

$$R = 4930 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1640}{4930} = 0,33265;$$

$$\cos \alpha = 0,9488761;$$

$$a = 30 \text{ мм};$$

$$R_1 = \frac{4930}{0,9488761} + 30 = 5195,62 + 30 = 5225,62 \text{ мм};$$

$$s = 2\pi \left[\left(\frac{4930}{0,9488761} + 30 \right) - (4930 + 30 \cdot 0,9488761) \right] = 1678,62 \text{ мм}.$$

Длина окружности, соответствующая радиусу R_1 :

$$2\pi R_1 = 2\pi \cdot 5225,62 = 32833,4 \text{ мм}.$$

На фиг. 81 изображены верхнее и нижнее кольца резервуара (угольник $65 \times 65 \times 8$ и $75 \times 75 \times 10$) с деталями стыков. Риски кодец назначаются

такими, чтобы близлежащие к кольцу заклепки корпуса резервуара (пояса, днища и крыши) удобно размещались и заклепочные головки не задевали самого угольника.

Точное место расположения стыков на чертеже не указывается и при заказе материала для стыковых угольников исходят из нормальной торговой длины углового железа (фиг. 82) около 6,0 м.

Эскиз разметки колец в рабочем чертеже обычно не помещают, ограничиваясь надписями, как это сделано на фиг. 81.

Пример 2. Резервуар емкостью 4685 м³ (см. эскиз на фиг. 73).

На фиг. 82 изображены стенки резервуара емкостью 4685 м³, диаметром 22 906 мм и высотой 11 397 мм.

Стенки резервуара состоят из восьми поясов толщиной от 4 до 11 мм, расположенных по смешанной схеме: первые три пояса в ступенчатом порядке, прочие — в телескопическом.

В каждом из пяти нижних поясов резервуара — 12 листов размером 6000 × 1500 мм, в каждом из трех верхних поясов — 18 листов размером 4200 × 1400 мм.

Вертикальные швы (фиг. 83) пяти нижних поясов резервуара — впритык, типа B_2 , B_3 и B_4 ; вертикальные швы трех верхних поясов — внахлестку двухрядные (I_2). Конструкция швов и разбивка заклепок — в точном соответствии с табл. 16, § 3 настоящей главы.

Все горизонтальные швы — однорядные внахлестку, с шагом, равным (примерно) тройному диаметру заклепочных отверстий. В каждом кольцевом шве общее количество делений по окружности должно быть кратно количеству листов данного пояса, т. е. в нижних пяти поясах оно должно быть кратно 12 и в верхних поясах — 18.

Особое же внимание нужно обратить на тот шов, где пояс, состоящий из листов 6000 × 1500, сопрягается с поясом из листов 4200 × 1400, в данном случае на кольцевой шов между пятым и шестым поясами. Количество делений по окружности этого шва, естественно, должно быть кратно количеству листов в сопрягаемых поясах, т. е. 18 и 12, или, иначе говоря, делится на наименьшее кратное этих двух чисел (36); общее количество делений по шву (1980) без остатка делится на 36.

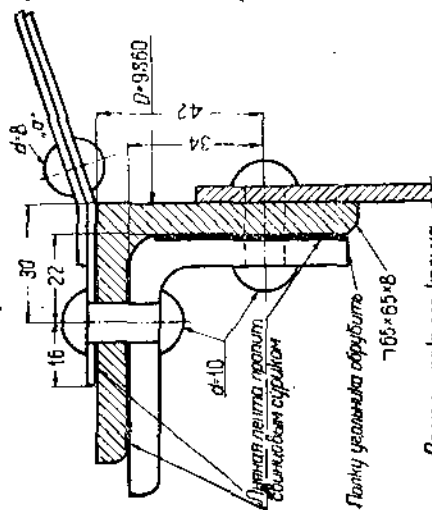
Так же, как и в предыдущем примере, все листы изображены со стороны разметки и пробивки отверстий, и надписи «вальцевать выдром наружу» и «вальцевать выдром внутрь» указывают направление вальцовки листов.

Однако ввиду телескопического расположения верхних поясов заусенцы (выдры) по верхним рискам каждого пояса окажутся после сборки в плоскости соприкосновения листов; по этой причине к эскизам листов этих поясов сделано примечание: «у дыр по верхней риске зачистить заусенцы».

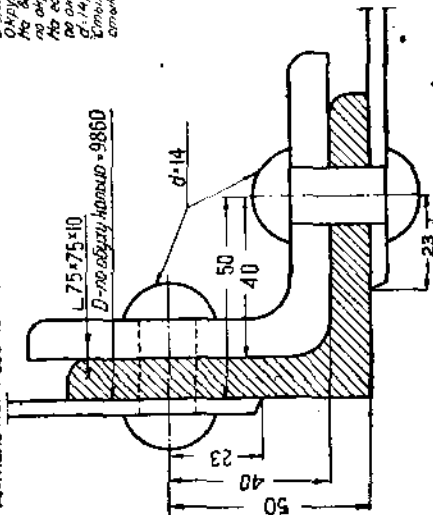
В нижних пяти поясах с вертикальными швами ласки в углах листов не оттягиваются; в верхних трех поясах с вертикальными швами внахлестку ласки располагаются по диагонали, что соответствует общей схеме расположения листов.

В местах сопряжения горизонтальных швов с наружными накладками (подлежащими чеканке) вертикальных швов II, IV и V поясов эти накладки оттягиваются, заходя клином в плоскость соприкосновения листов (фиг. 83, 84). Помимо основной разметки поясных листов, показанной на фиг. 83, верхние три пояса резервуара имеют дополнительные отверстия для прищипления опорных угольников железных стропил и башмаков для укреп-

Demain de nouveau l'histoire



Петельку нужного кольца

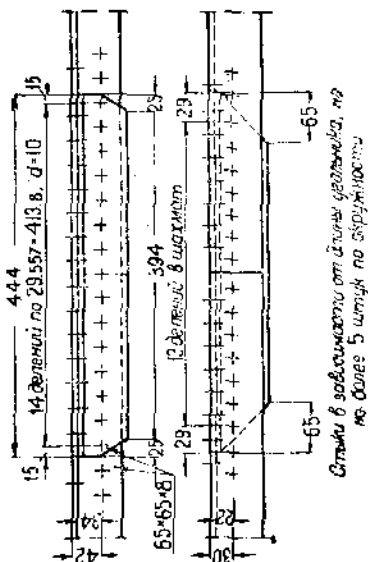


Детали резервуара емкостью 830 м³
размеры верхнего кольца

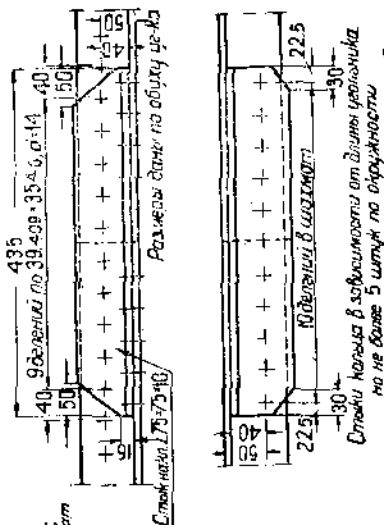
Размеры вертикального кольца

[illegible]

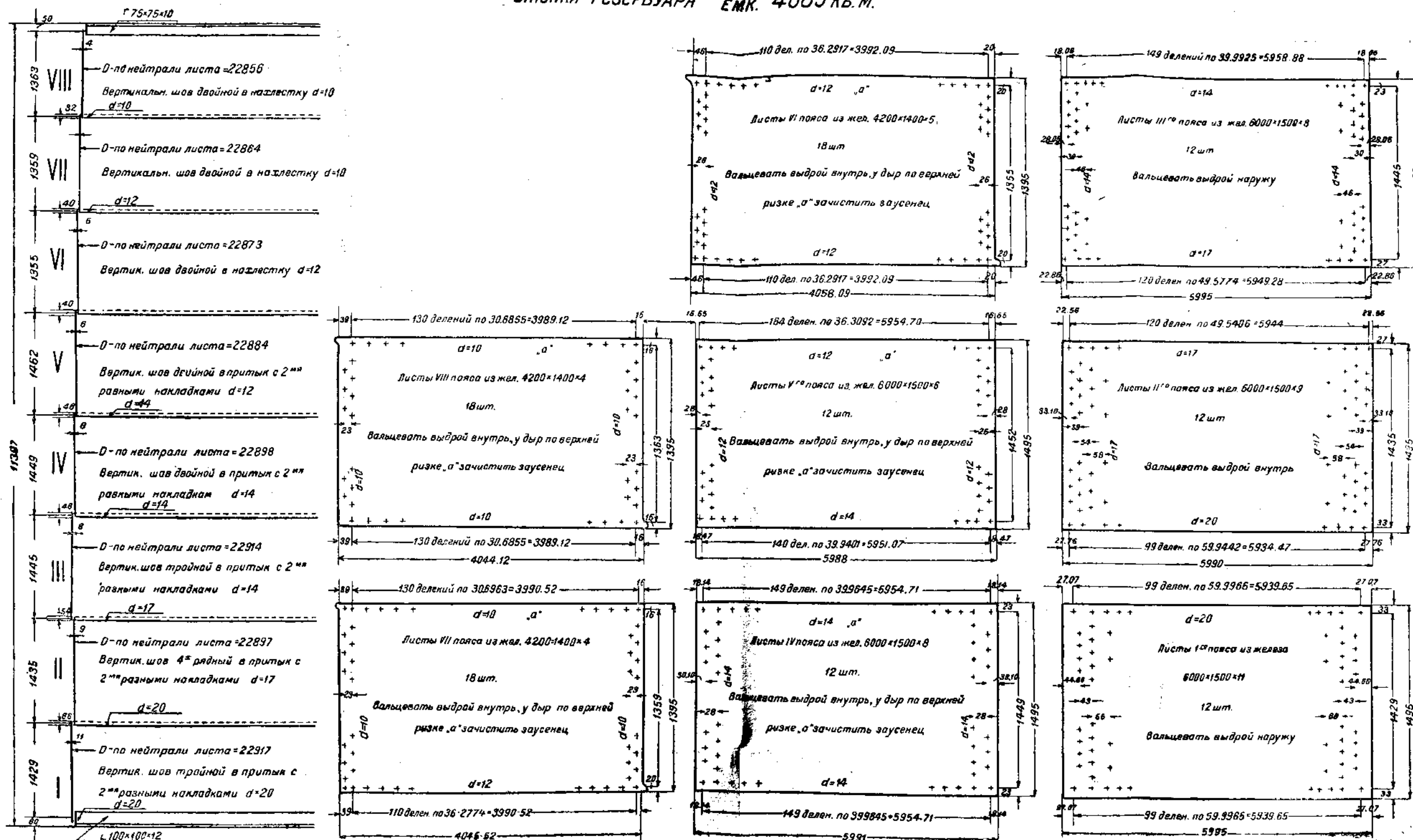
Tun omika gadišas unī

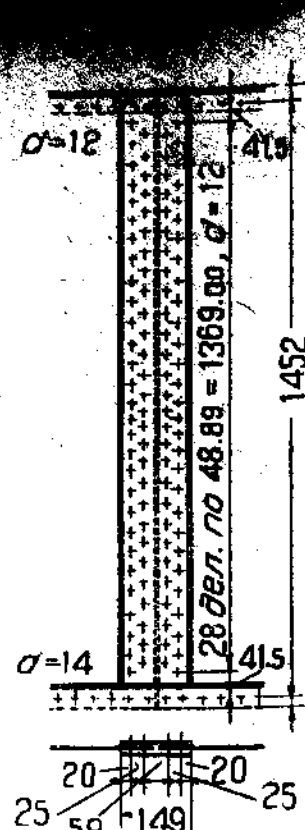
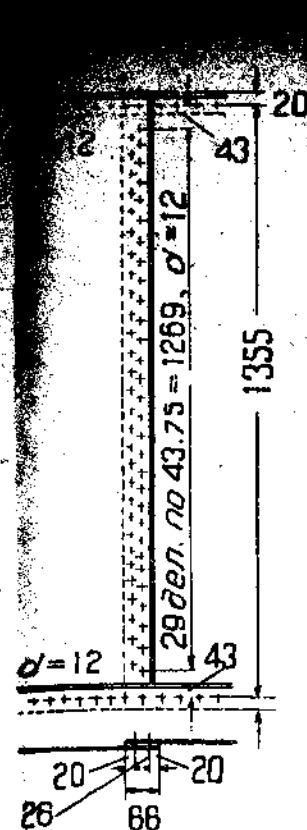
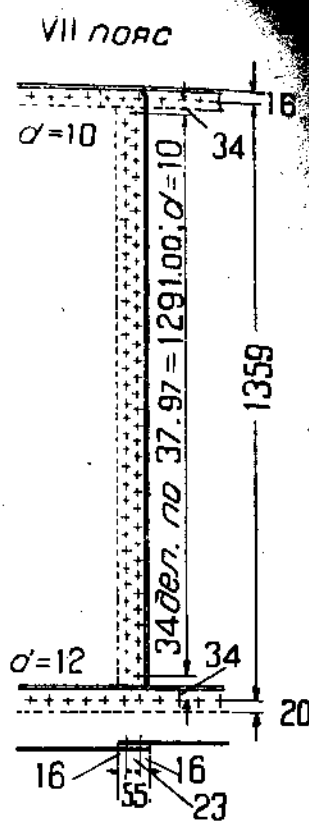
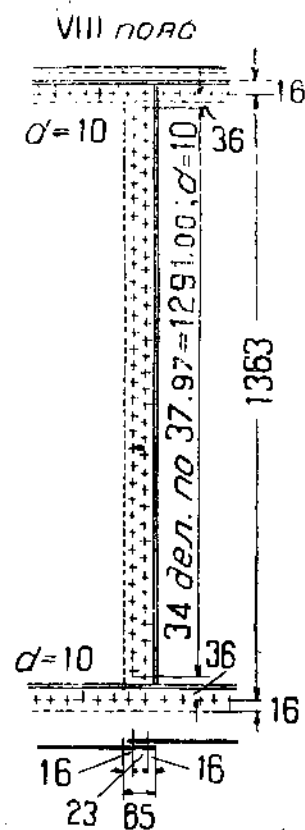


Түн сатында жүзүндө көпчүлүк

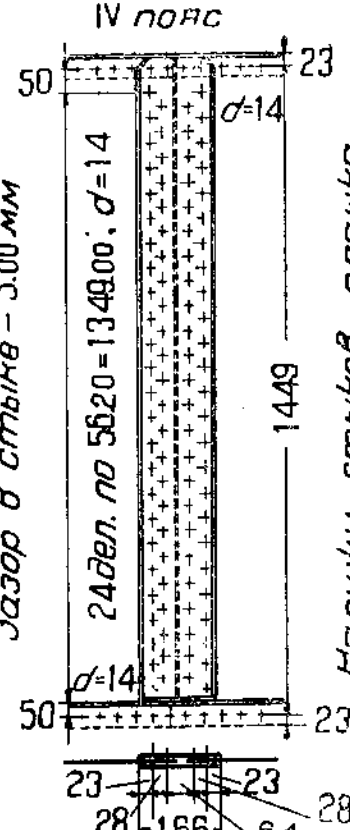


Стенки резервуара емк. 4685 куб. м.

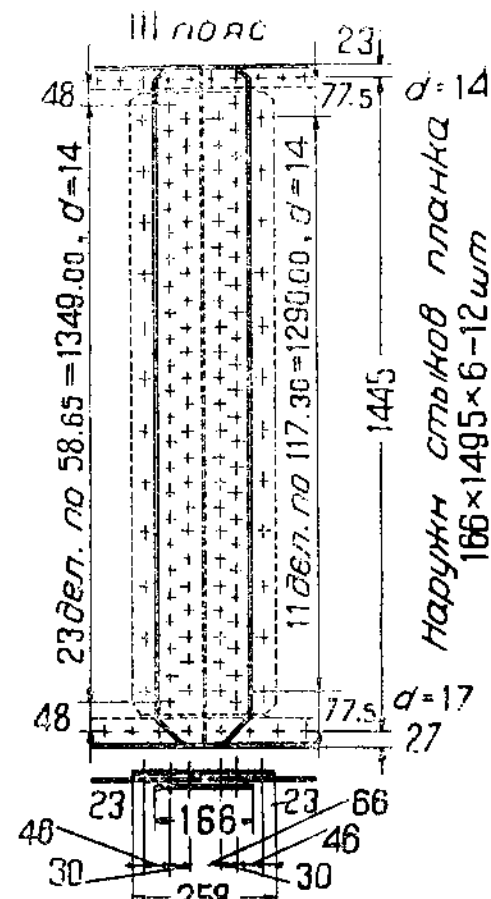




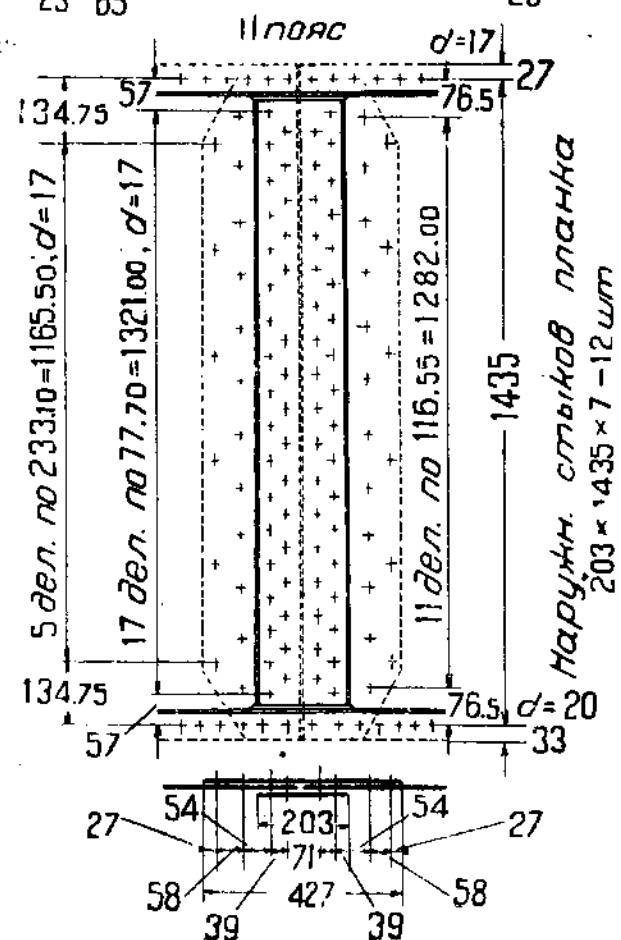
Наружн. стыков. планка
149×1471.5×5-12 шт
Внутрен. стыков. планка
149×1463.5×5-12 шт
Зазор в стыке - 3.00 мм



Наружн. стыков. планка
186×1472×6-12 шт
Внутрен. стыков. планка
186×1447×6-12 шт
Зазор в стыке - 3.68 мм



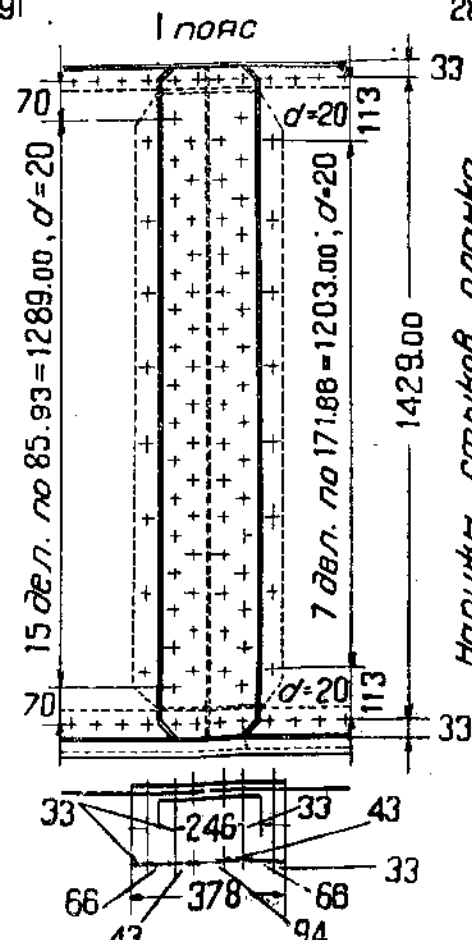
Наружн. стыков. планка
186×1495×6-12 шт
Внутрен. стыков. планка
258×1392×6-12 шт
Зазор в стыке - 3.86 мм



Наружн. стыков. планка
203×1435×7-12 шт

Внутрен. стыков. планка
427×1495×7-12 шт

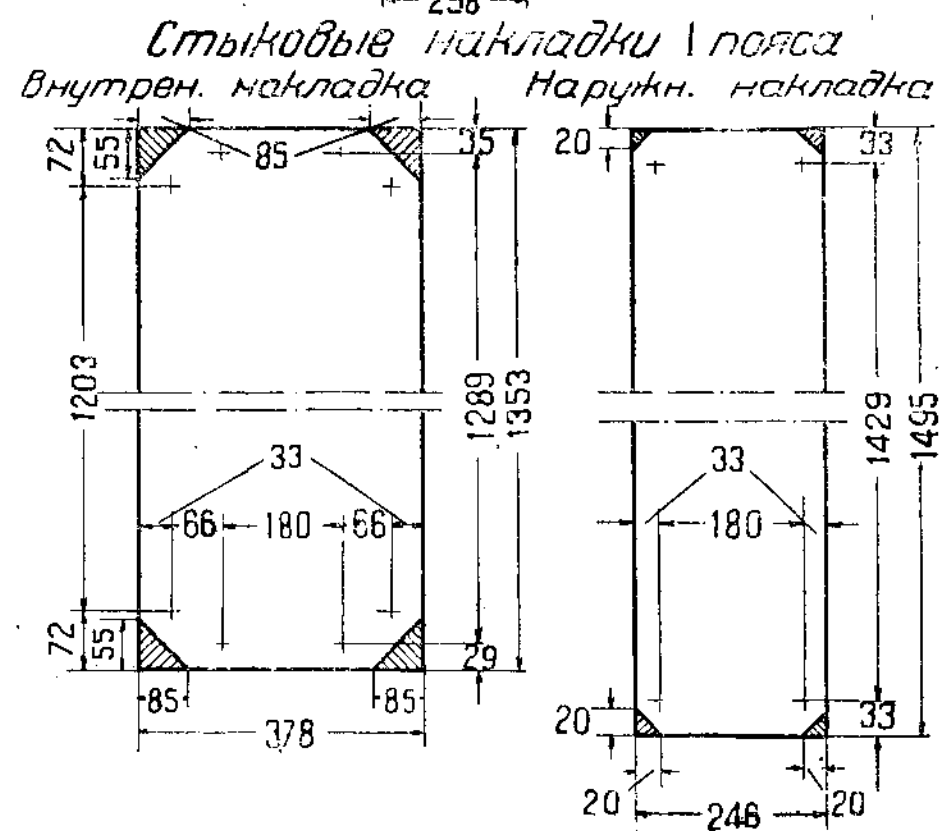
Зазор в стыке - 4.42 мм



Наружн. стыков. планка
246×1495×8-12 шт

Внутрен. стыков. планка
378×1353×8-12 шт

Зазор в стыке - 4.65 мм



ления деревянных прогонов (§ 5, фиг. 102). На фиг. 84 указана дополнительная разметка двух листов VIII пояса.

На фиг. 85 изображено днище резервуара, выкроенное из листов $3000 \times 1500 \times 6$. Все детали разметки на чертеже не указаны, приведены лишь размеры одной окрайки, одного нормального (целого) листа и деталь одного узла в сопряжении днища с нижним кольцевым угольником.

На фиг. 86 изображена развертка крыши, представляющей собой коническую поверхность с небольшим уклоном ($\frac{1}{30}$) (конструкцию стропил для этого настила см. ниже, фиг. 102, 103, 104). На чертеже разметка полностью не дана, приведены лишь детали нормального листа и деталь выреза бонуса.

Верхнее кольцо резервуара — из угольника $75 \times 75 \times 10$; нижнее — из угольника $100 \times 100 \times 12$ (фиг. 84).

В качестве примера конструкции днища с окрайками в форме сегментов на фиг. 87 представлено днище резервуара емкостью 6360 м^3 , высотой 1371 мм и диаметром 26723 мм . Сегменты выкроены из листов $600 \times 1500 \times 8$, разрезанных по длине пополам; промежуточные листы — размером $6000 \times 1500 \times 6$.

Помимо резервуаров с заклепочными соединениями, представляющими собой конструкции неразборного типа, в Америке применяются разборные резервуары, отдельные элементы которых соединяются между собой болтами. Сборка этих резервуаров чрезвычайно проста и не требует почти никакого оборудования кроме легкого инструмента и небольших лебедок.

Листы стенок этих резервуаров располагаются своей длинной стороной по высоте резервуара; обычно высота резервуара ограничивается длиной одного листа. В окружности сопряжения днища со стенками в окрайках упираются борты, образующие фланец по всей окружности.

Сопряжения листов между собой производится помощью болтов через прокладку; после же сборки резервуара швы закрашиваются шеллаком.

Иногда применяется конструкция поясов с загيبом бортов наружу резервуара; в этом случае все болтовые соединения располагаются с наружной стороны резервуара.

Заканчивая на этом описание корпусов вертикальных цилиндрических резервуаров, переходим к рассмотрению конструкции стропил, поддерживающих крыши этих резервуаров.

§ 5. Стропильные покрытия вертикальных резервуаров

Аналогично форме настила крыши по своей геометрической форме стропила вертикальных цилиндрических резервуаров могут быть коническими, сферическими и плоскими.

По роду применяемого строительного материала различаются стропила железные, деревянные и смешанной конструкции (железо-деревянные).

Наконец по характеру конструкции стропила могут быть подразделены на следующие категории:

1) стропила с промежуточными опорами (колоннами), находящимися внутри резервуара;

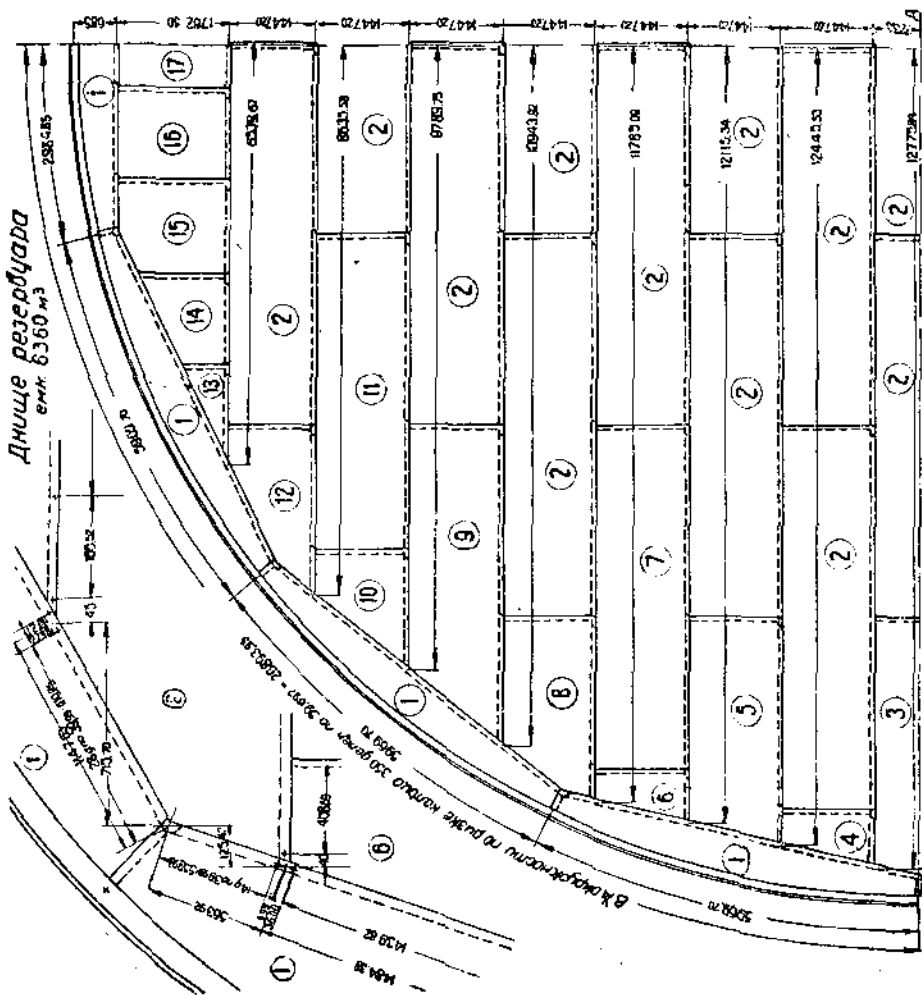
2) стропила без промежуточных колонн, опирающиеся только на стенки резервуара.

Стропильные конструкции с колоннами внутри резервуара имеют целый ряд недостатков: возможность осадки фундаментов колонн, трудность

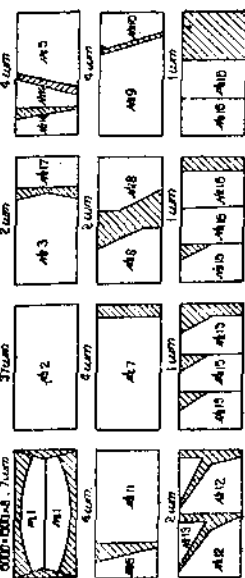


Днище резервуара

EMR 6350 ME



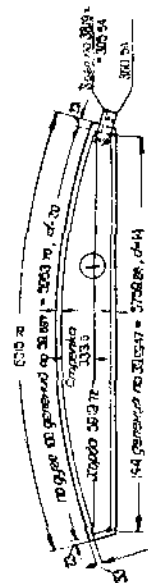
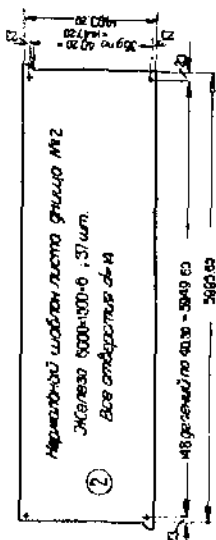
Российский институт гуманитарных исследований 610015 ИР-8-7, пер. БТД-500-6 - 69/40000



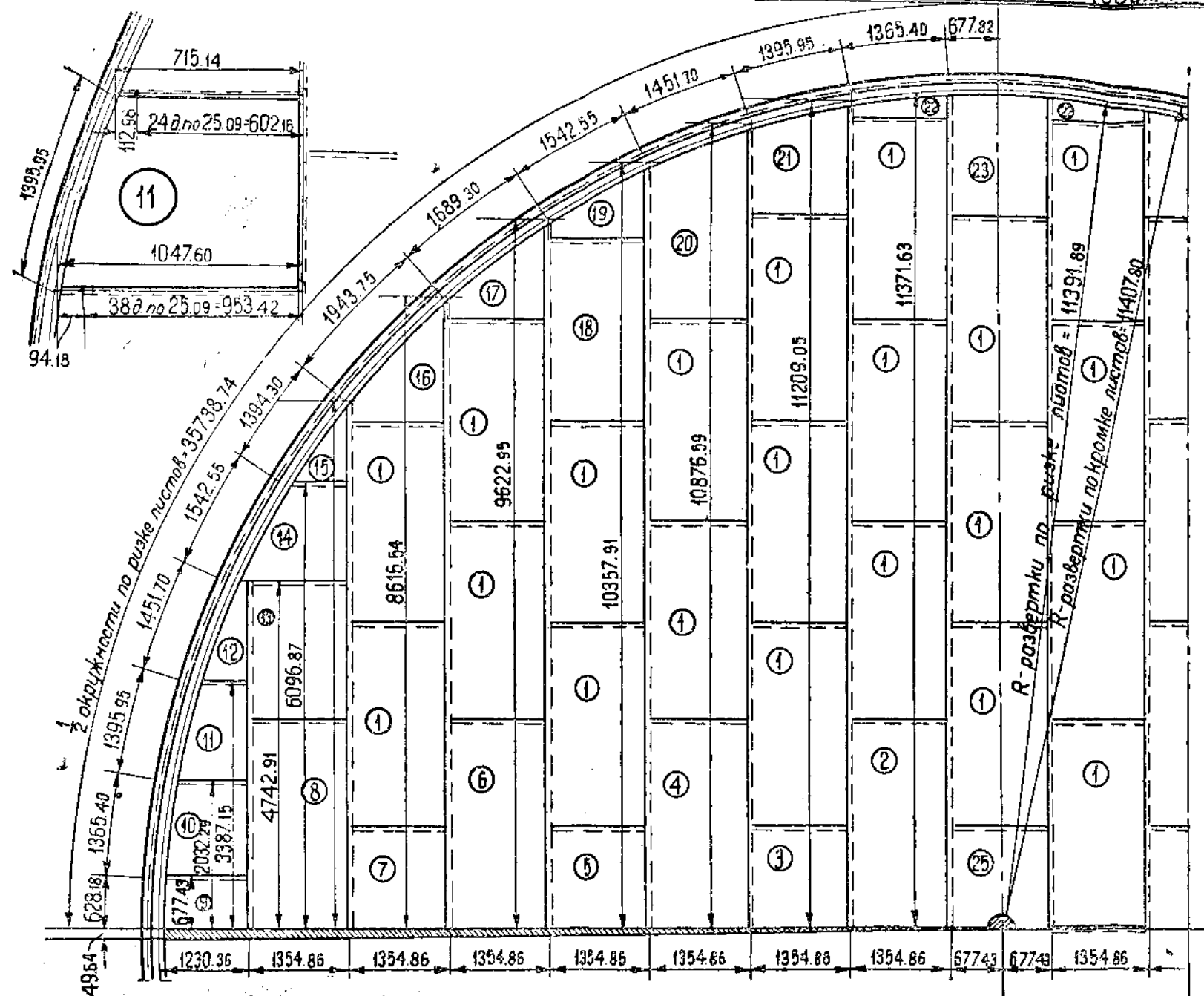
ZPW OFFICIALS QUOTE: "THESE ARE THE

ЖКЗ/7830 8000-1000-6 ; 37 см.

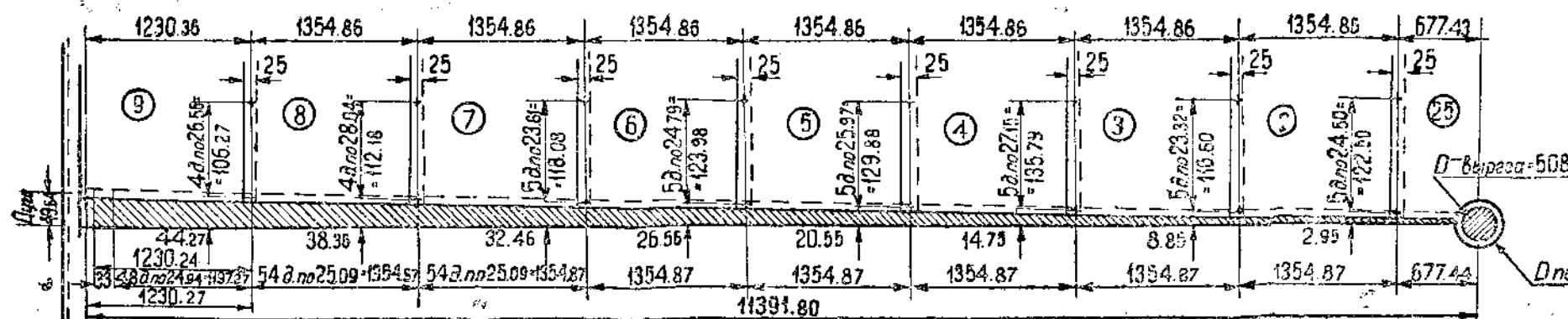
For answers to 14



Крыша резервуара емк. 4685 м³.



Деталь Выреза



Раскрой листов крышки. Железо 2800×1400×3. Всего на 1 крышу 114 листов

Diagram illustrating a 5x5 grid of squares, numbered 1 to 25, with various dimensions and patterns. The grid is organized into two rows of five squares each.

Row 1 (Top):

- Square 1: Dimensions 73mm (width) and 2mm (height).
- Square 2: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).
- Square 3: Dimensions 1mm (width) and 2mm (height).
- Square 4: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).
- Square 5: Dimensions 1mm (width) and 2mm (height).

Row 2 (Middle):

- Square 6: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).
- Square 7: Dimensions 1mm (width) and 2mm (height).
- Square 8: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).
- Square 9: Dimensions 1mm (width) and 2mm (height).
- Square 10: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).

Row 3 (Bottom):

- Square 11: Dimensions 4mm (width) and 2mm (height).
- Square 12: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).
- Square 13: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).
- Square 14: Dimensions 4mm (width) and 2mm (height).
- Square 15: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).

Row 4 (Bottom):

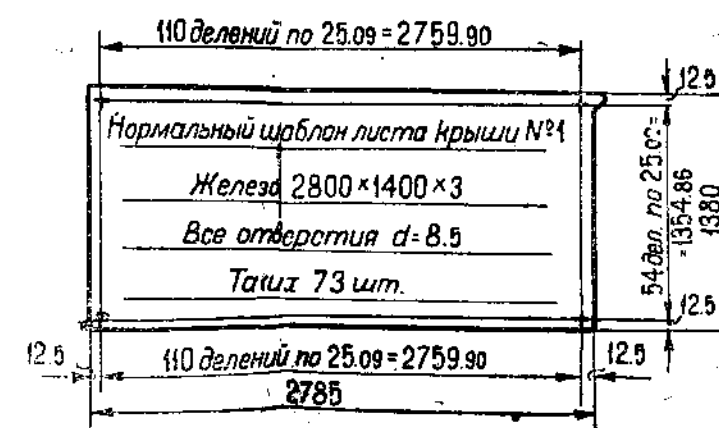
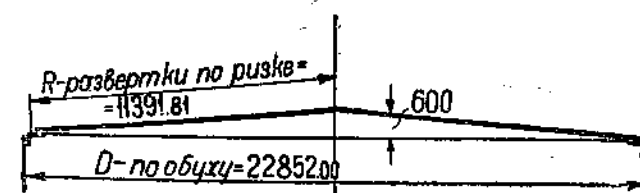
- Square 16: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).
- Square 17: Dimensions 4mm (width) and 2mm (height).
- Square 18: Dimensions 4mm (width) and 2mm (height).
- Square 19: Dimensions 1mm (width) and 2mm (height).
- Square 20: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).

Row 5 (Bottom):

- Square 21: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).
- Square 22: Dimensions 4mm (width) and 2mm (height).
- Square 23: Dimensions 4mm (width) and 2mm (height).
- Square 24: Dimensions 1mm (width) and 2mm (height).
- Square 25: Dimensions 2mm (width) and 1mm (height).

Patterns and Dimensions:

- Squares 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25: Contain diagonal hatching.
- Squares 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25: Contain various dimensions (width and height) in mm.



Все отверстия по кольцу $d=10$.
 " " " " " внутри кольца $d=8.5$.
 Отверстия в крайках по дуге подмечаются по кольцу.
 Все швы крышки прокладывать лентой шир. 35 мм.
 пропитанной свинцовым суриком.

568 по окружности 30 дел. дыры подмечать по крышке барабана
центральной стойки стропил

смены двинца, палец, расстановка колонн внутри резервуара сама по себе является чем-то громоздким и неконструктивным. По весу же эти конструкции, во всяком случае, не легче стропил без колонн¹; при надлежаще выбранной схеме стропил конструкции без колонн может получиться легче конструкции с колоннами.

К достоинствам стропильных конструкций с промежуточными колоннами нужно отнести простоту в обработке отдельных деталей и упрощение монтажа вследствие легкости (хотя и многочисленности) этих деталей. Повидимому, по этой причине стропила с промежуточными колоннами имеют большое применение при постройке резервуаров в Америке, где простота в производстве является основным принципом проектирования, вопросы же экономии металла не являются первостепенными.

Крыши резервуаров, подобно крышам других сооружений, рассчитываются на постоянную и снеговую нагрузку.

Ветровая нагрузка, вследствие незначительного уклона кровли (до 30°), при расчете резервуара не учитывается (см. «Единые нормы строительного проектирования», сер. XI, № 2, раздел VII).

Согласно ТУ разрешается применять следующие унифицированные снеговые нагрузки при проектировании резервуаров:

для северной полосы СССР	120	кг/м ²
» средней	» 90	» »
» южной	» 60	» »

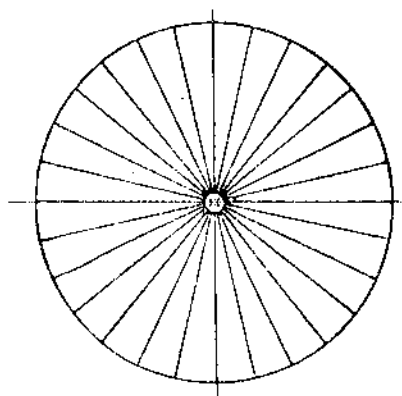
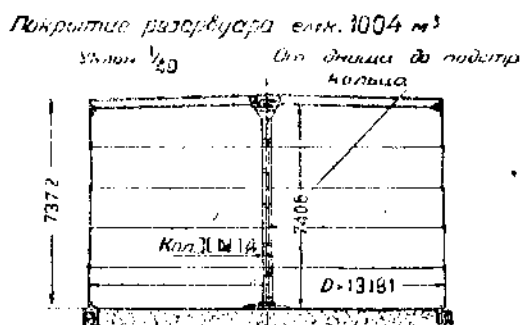
Переходим к детальному описанию отдельных типов покрытий.

Стропила на колоннах

Стропила этого типа делаются либо плоскими, либо с небольшим уклоном (до $\frac{1}{20}$ радиуса основания резервуара) и могут быть разбиты на две основные группы:

а) Стропила с одной центральной колонной. Радиальные балки, расходящиеся от колонны, могут быть либо железные (решетчатые или прокатные), либо деревянные. Ниже даем примеры конструктивного оформления этих покрытий.

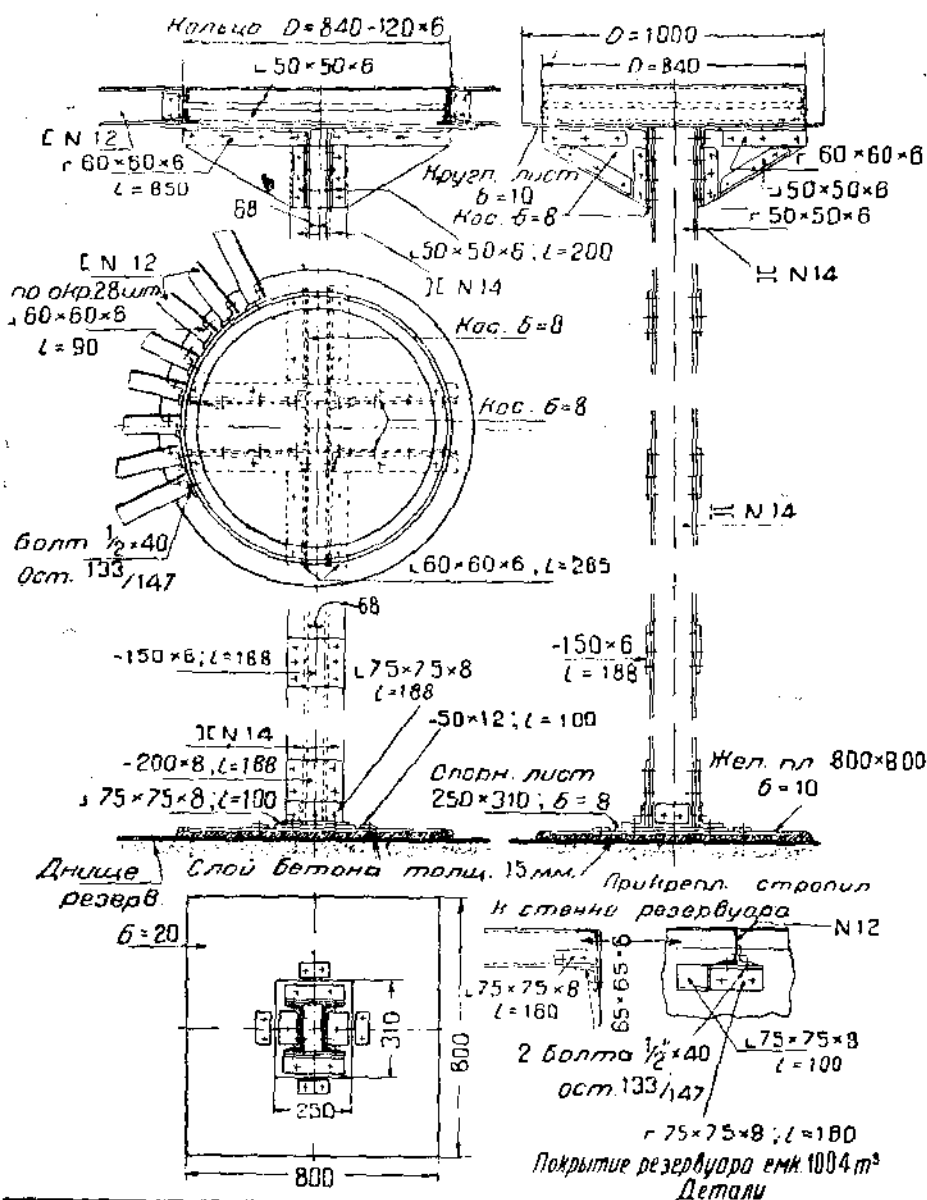
На фиг. 88, 89 изображено плоское покрытие резервуара (с уклоном $\frac{1}{40}$) емкостью 1004 м³. По окружности резервуара — 28 железных стро-



Фиг. 88

¹ Так как стропильные ноги в большинстве случаев рассчитываются на прогиб и материал их не используется полностью, колонны же по конструктивным соображениям получают большее сечение, чем это требуется по расчету.

лильных ног из швеллеров № 12, опирающихся одним концом на стенки резервуара, а другим на центральную колонну, составленную из двух швеллеров № 14.



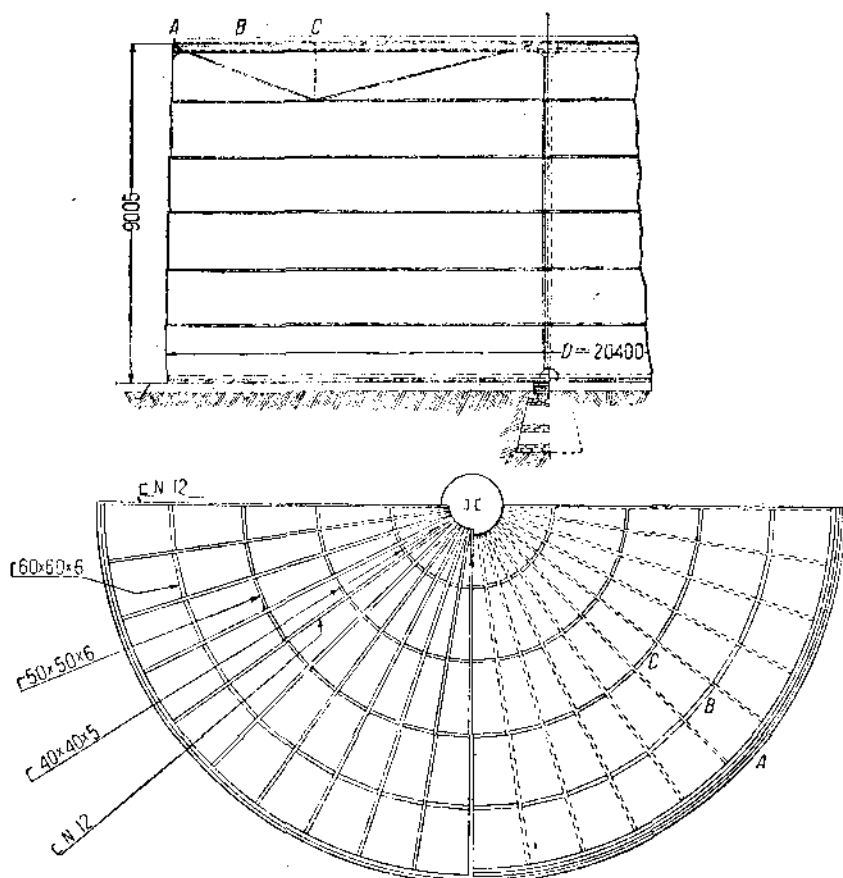
Фиг. 89

Колонна специального фундамента не имеет и опирается торцом на квадратную железную плиту размером $800 \times 800 \times 10$, заложенную в слой бетона толщиной 15 мм, покоящуюся непосредственно на днище резер-

вуара. Против сдвига колонн на плите служат четыре планки $100 \times 50 \times 12$, приклепанные к ней заклепками с потаем внизу. Крепление стропильных ног к колонне и стенкам резервуара, а также прочно детали лены из чертежа.

На фиг. 90, 91, 92 изображена аналогичная конструкция плоского покрытия с решетчатыми железными стропилами для резервуара емкостью 2940 м³. Центральная колонна из двух швеллеров № 20 опирается на

Перекрытие резервуара емкостью 2940 м³



Фиг. 90

железную плиту толщиной 10 мм, свободно лежащую (неприклепанную) на днище. Против сдвига плиты на днище служат четыре планки $100 \times 50 \times 12$, приклепанные к последнему. Фундамент из кирпичной и бутовой кладки расположен непосредственно под днищем.

Характерным в этом покрытии является кольцевое ограждение из уголка $75 \times 75 \times 8$ для налива воды, препятствующей испарению нефти.

б) Стропила с одной центральной колонной и рядом промежуточных колонн, расположенных по окружности внутри резервуара. Промежуточные колонны поверху связываются

поперечными балками, несущими радиальные стропильные ноги; другой опорой стропильных ног являются стенки резервуара и центральная колонна.

На фиг. 93, 94, 95 изображен резервуар емкостью 7560 м³ с одной центральной и шестью промежуточными колоннами. Центральная колонна из нефтенепроводной трубы $d = 219$ мм, промежуточные — из четырех угольников 50×50×6. Колонны расположены на фундаментах из кирпичной и бутовой кладки.

Поперечные балки, связывающие колонны, — из двутавров № 38; радиальное расположение стропильные ноги — из швеллеров № 14 и 16.

Крыша снабжена кольцевым ограждением из угольника 50×50×6 для налива воды. Конструкция деталей ясна из чертежей.

На фиг. 96, 97, 98 изображен резервуар емкостью 3730 м³ с одной центральной и шестью промежуточными колоннами. Сечение центральной и промежуточной колонн — из четырех угольников 50×50×6. Конструкция опор колонн — аналогична фиг. 89. Поперечные балки, связывающие колонны, — из двутавров № 30; радиальные стропильные ноги деревянные — из брусев 120×180 и 150×200.

Стропила без колонн

Покрытия этого типа могут быть разбиты на следующие группы: плоские, конические и сферические.

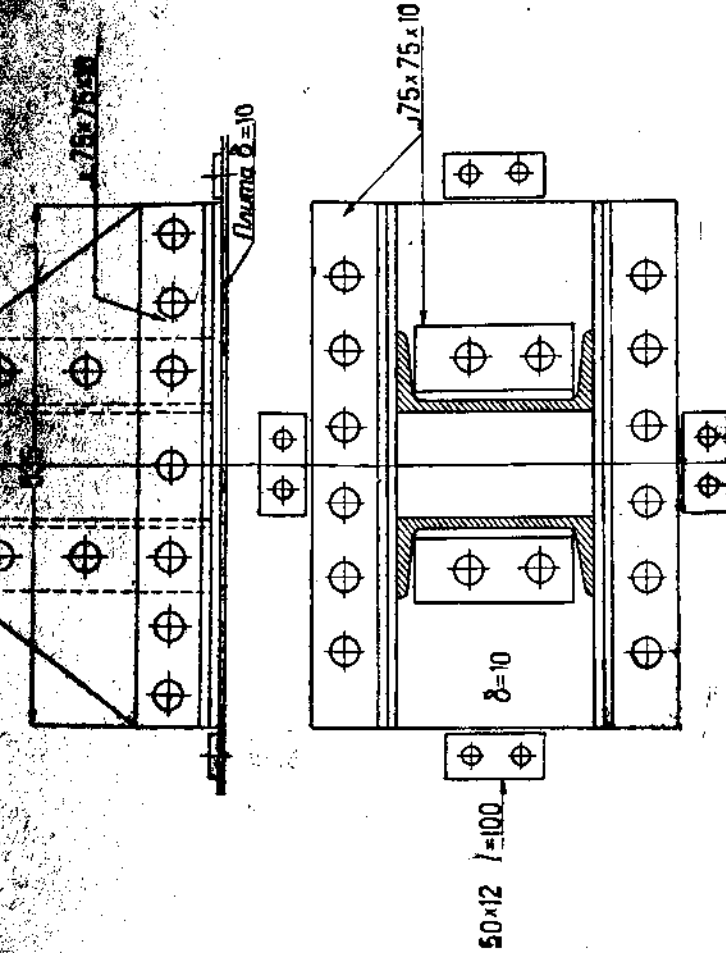
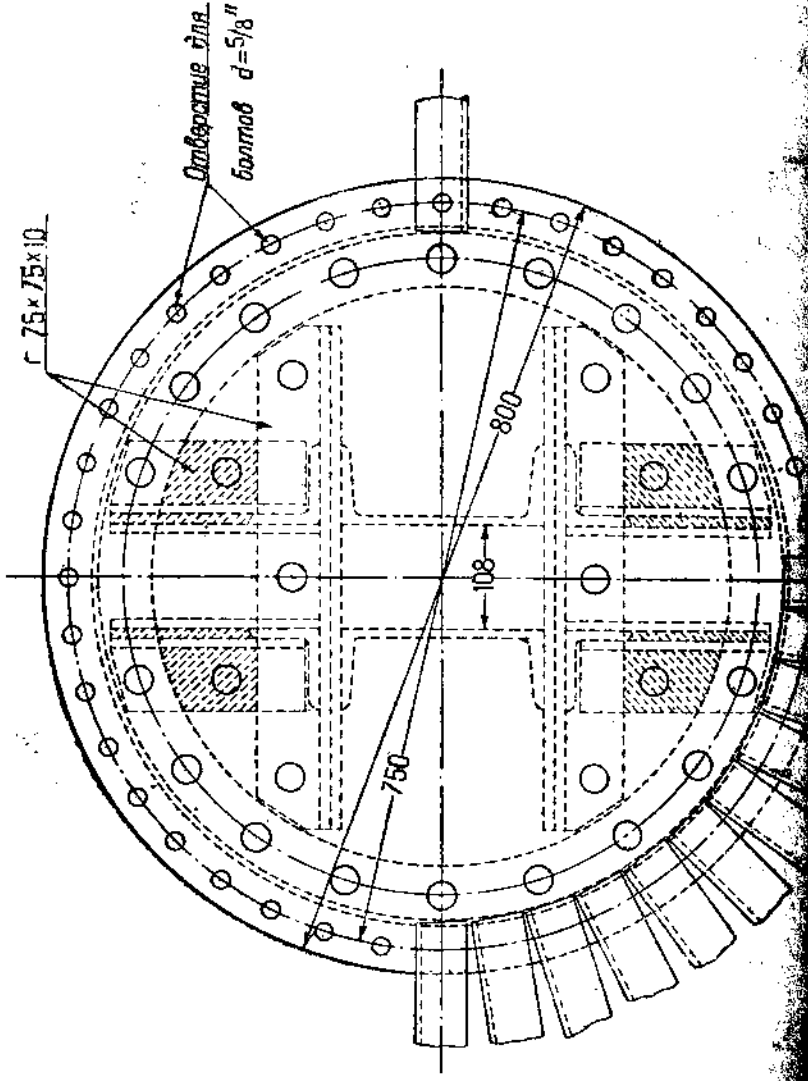
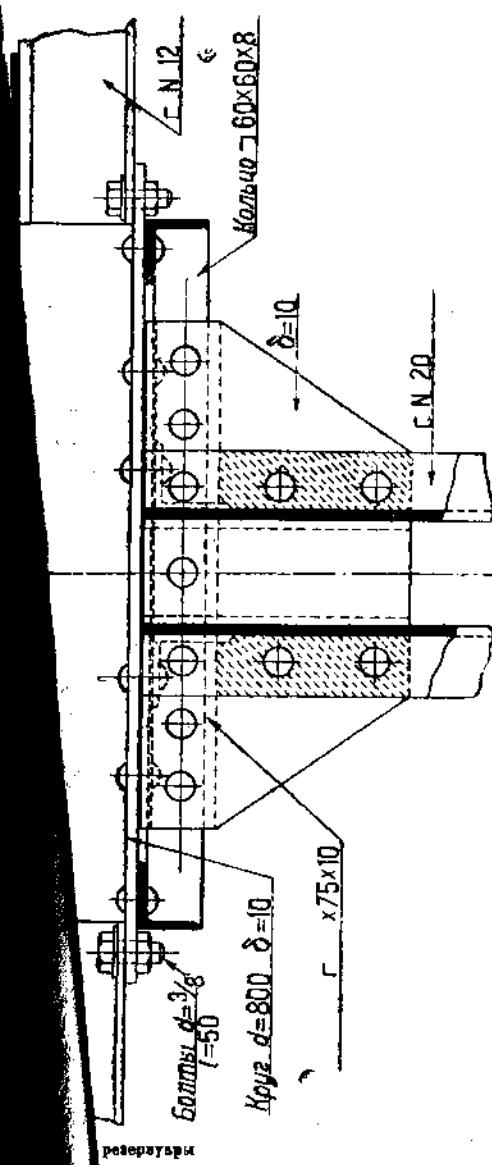
1. Плоские покрытия. Стропильные фермы этих покрытий преимущественно железные, решетчатого типа.

На фиг. 99 изображено перекрытие из прокатных балок небольшого резервуара емкостью 59 м³. Стропильные балки из швеллеров № 12 расположены по хордам окружности в плане резервуара. Крыша снабжена кольцевым ограждением из угольника 50×50×6 для налива воды.

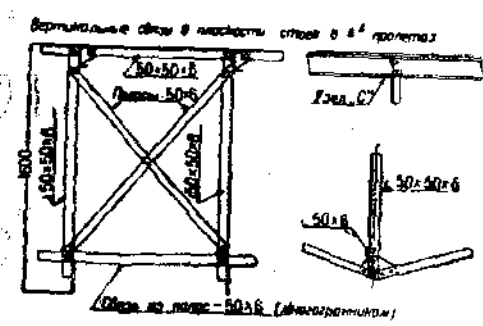
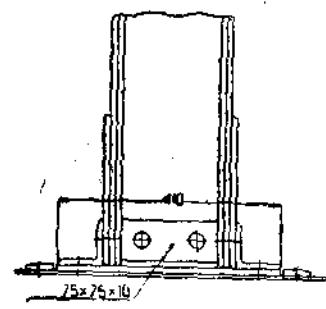
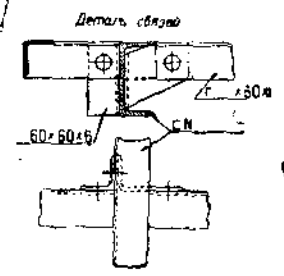
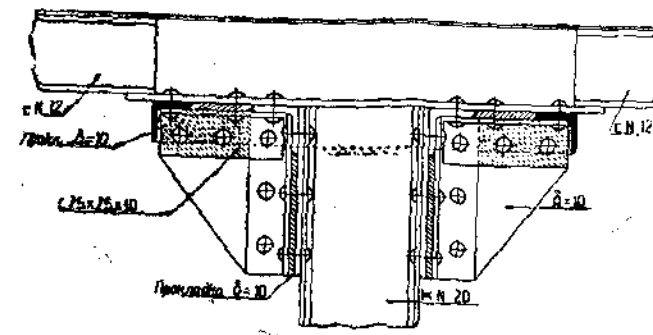
Оригинальная конструкция плоских решетчатых стропил пролетом 9,48 м показана на фиг. 100, 101. Стропила эти, так называемого «корзиночного» типа, состоят из двух систем колец, связанных между собой системой диагональных связей. В плоскости верхнего пояса — кольца из углового железа в узлах I, III, IV; в плоскости нижнего пояса — кольца из полосового железа в узлах VI и VII. В узле II верхнего пояса — кольцевая связь из 50×50×6. Стропила этого типа применяются весьма редко при легких нагрузках, преимущественно для спиртовых резервуаров располагаемых внутри крытых помещений.

На фиг. 102, 103, 104 изображено решетчатое стропильное покрытие (уклон $\frac{1}{20}$) резервуара емкостью 4685 м³; расчет и конструкция резервуара были изложены в § 2, 3 и 4 настоящей главы. По окружности — 10 полустропил (5 стропил), связанных попарно системой горизонтальных и вертикальных связей.

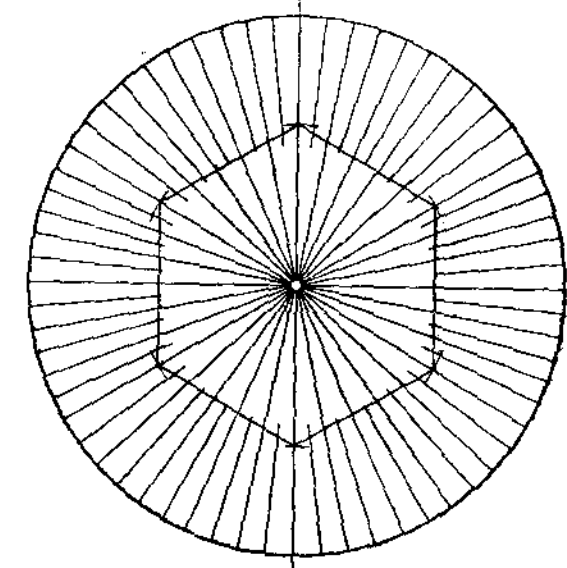
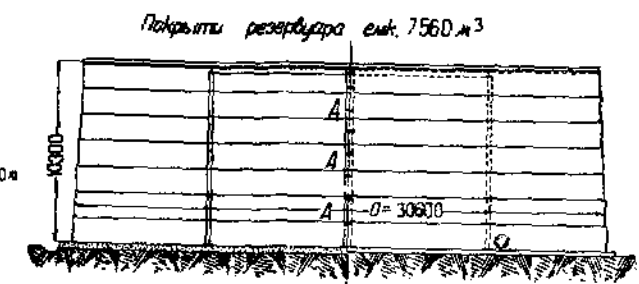
Верхние пояса стропил связаны поперечными балками из швеллеров № 18, 12, 10. На поперечные балки опираются деревянные прогоны из брусев 180×60 и 170×50, по которым располагается настил крыши из листового железа толщиной 3 мм. В плане деревянные прогоны сдвинуты относительно стропильных ферм, благодаря чему удалось избежать местного изгиба верхних поясов последних. Сопряжение полустропил в коньке устраивается помощью центрального опорного кольца, представляющего собой барабан из листового железа $\delta = 10$ мм, диаметром 478 мм и высотой 390 мм.



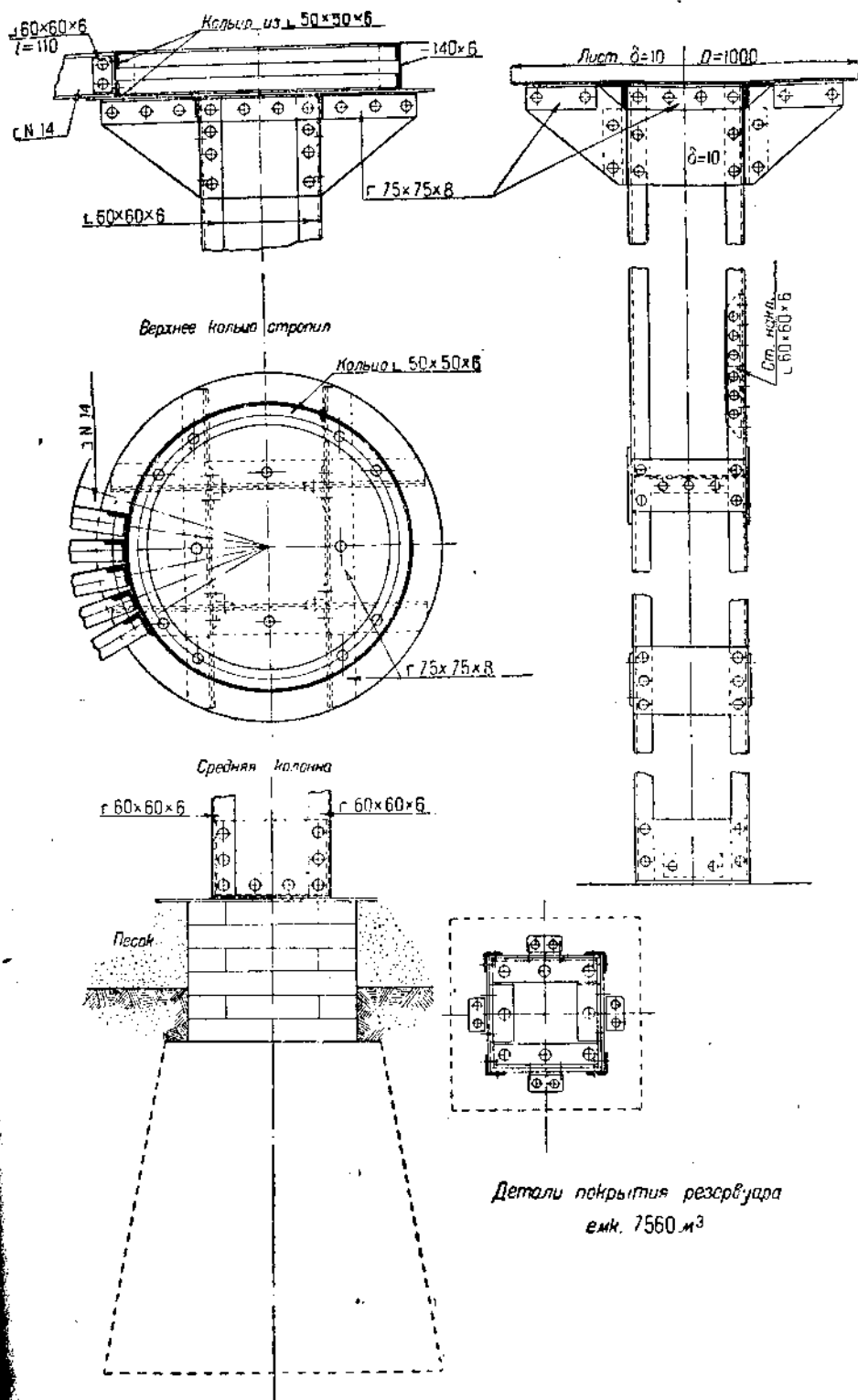
Деталь перекрытия резервуара емк. 2940 м³



Фиг. 92.



Фиг. 93.



Фиг. 94

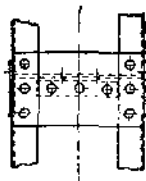
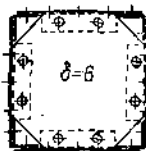
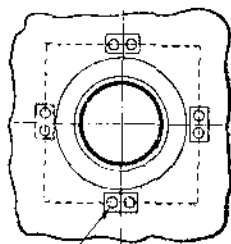
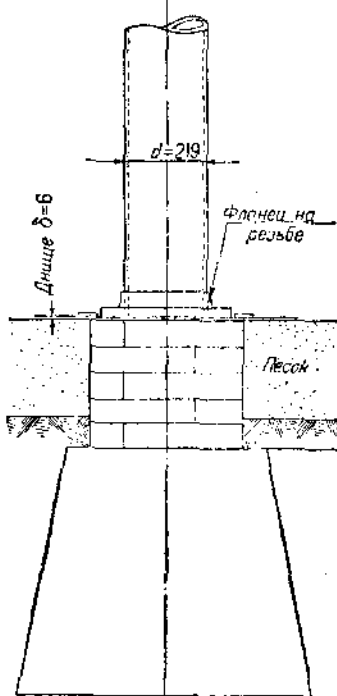


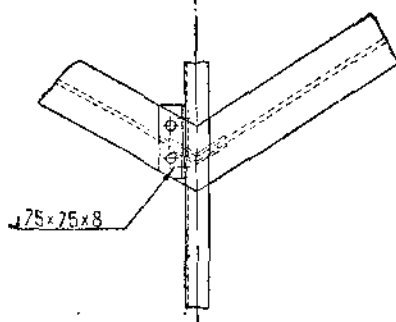
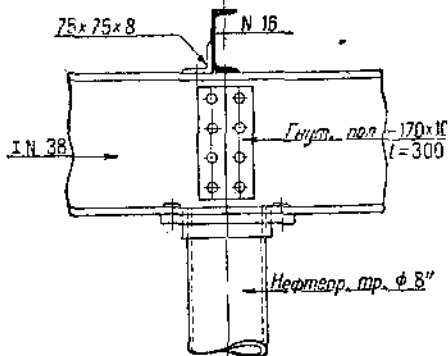
Диаграмма по срезу колонны
в плоскости „А“



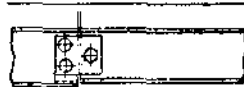
Основание прам. колонны



Стык балок на пром. колонне

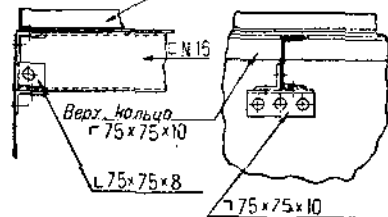


Стык стропильн. ног



Укрепление стропил к стенке

Кольцо 50x50x6



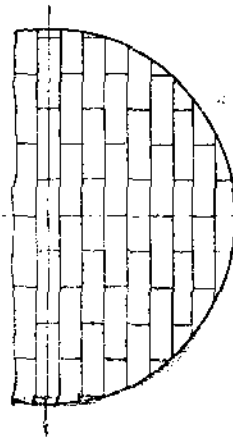
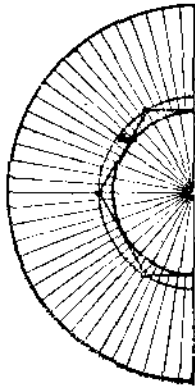
Детали покрытия резервуара

емк. 7560 м³

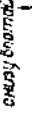
покрытые резиной на 3730 м³



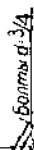
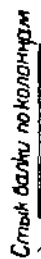
Пять расположенных колонн, балок и стропил



Детали покрытия
резервуара емк. 3730 м³



36



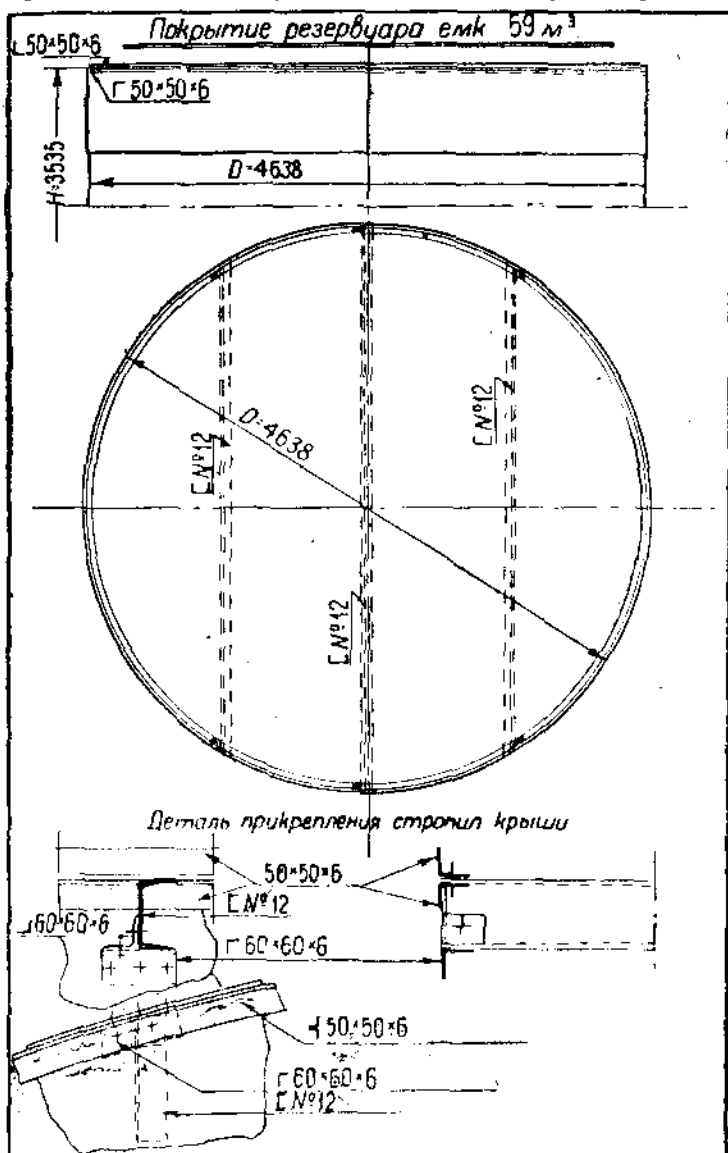
Детали покрывают
резервуара емк. 3730 м³



Крепление дерев. стропил к бокам резервуара

96 316

Вследствие расположения верха поперечных железных балок заподлицо с верхом стропильных ферм в настоящей конструкции легко удалось добиться правильного прилегания конуса настила крыши к верхней поверхности стропил; имеющаяся разница в высотах верха деревянных прого-



Фиг. 99

нов выравнена подрубкой концов этих прогонов. Теоретически задача сводится к определению разницы уровней (высот) точек конической поверхности, расположенных на одной и той же вертикальной плоскости, перпендикулярной основанию конуса. Задача эта решается следующим элементарным способом.

Стропила для резервуара емк. 4563 м³.
Геометрическая схема стропильной фермы

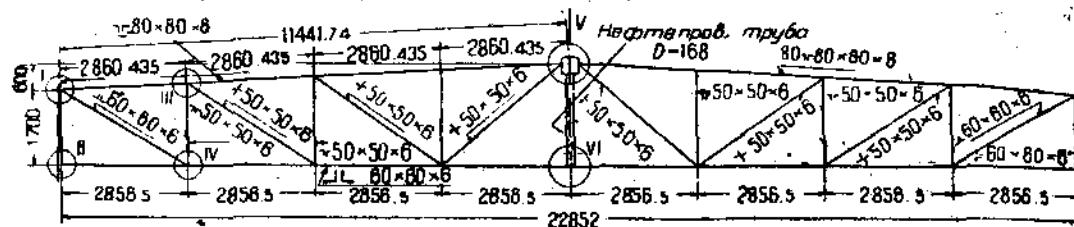
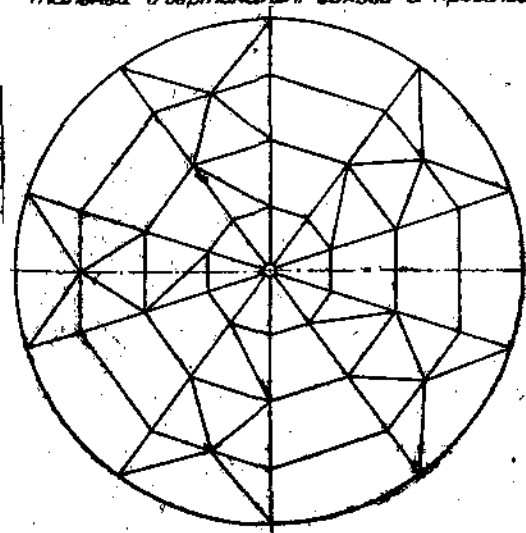
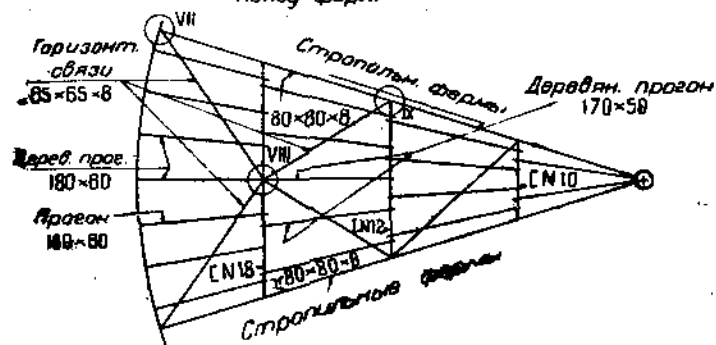


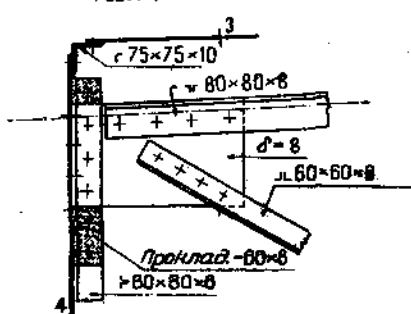
Схема расположения стропил горизонтальных и вертикальных связей и проносов



Геометрическая схема связей по верхнему поясу ферм



Узел I



Крепление деревянного прогона

Верхнее кольцо

Узел II

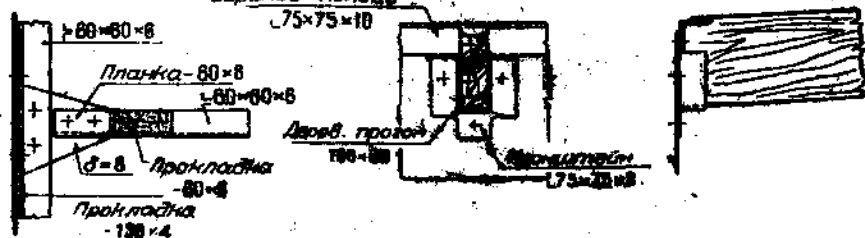
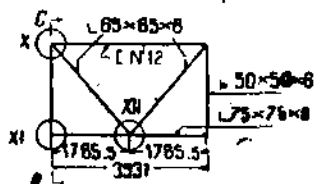
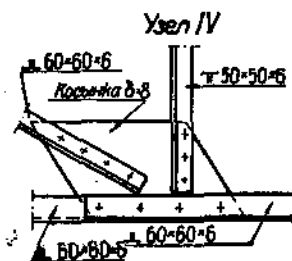
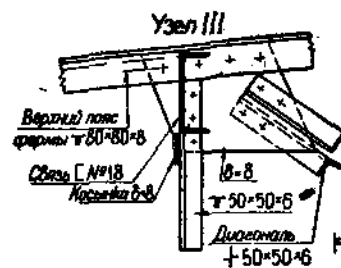


Схема расположения узлов

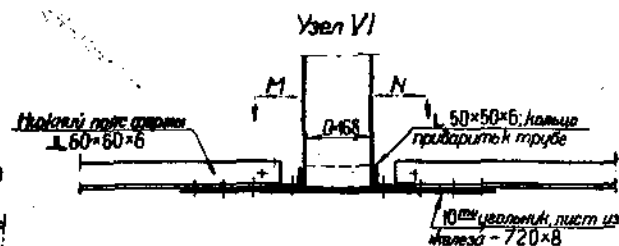
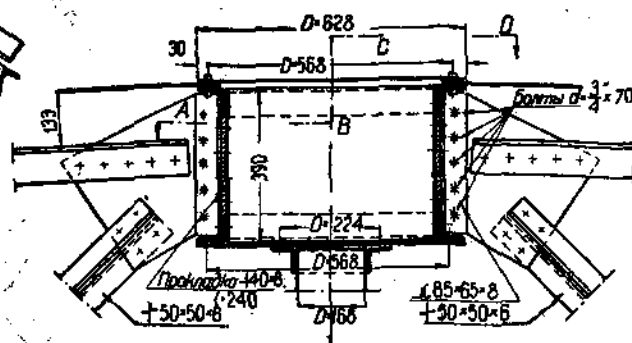


Фиг. 102.

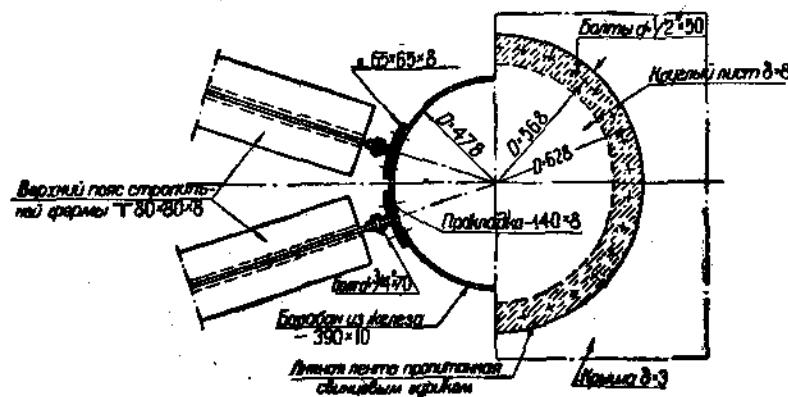
Фиг. 102.



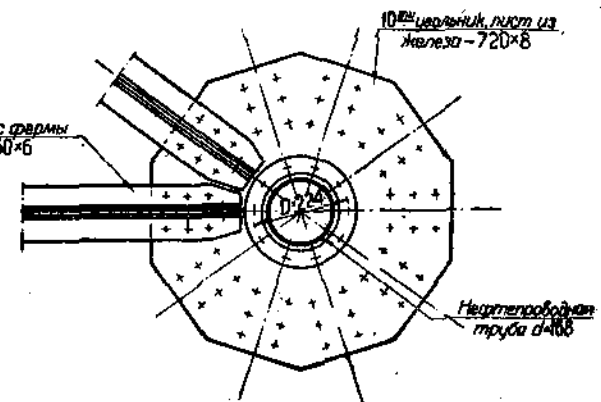
Стропильная для резервуара $св. 4685 м^3$
 Узел V Детали узлов



Разрез по A-B-C-D



Разрез по M-N



Пусть A и B — точки на поверхности конуса (фиг. 105), расположенные на одной и той же хорде BB параллельного круга (A — середина хорды).

Вводим следующие обозначения:

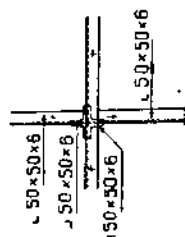
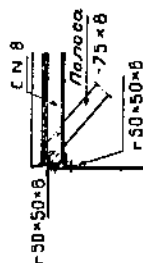
h_{AB} — разность уровней точек A и B ,

f_B — стрелка дуги BB ,

α — угол наклона образующей конуса к горизонту.

Детали стропил для резервуара $D=9480$ мм

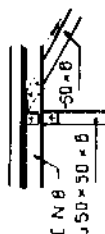
Узел I Узел II



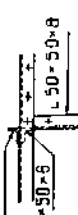
Узел IV



Узел III



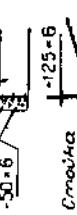
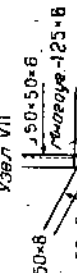
Узел V



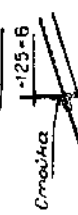
Узел VI



Узел VII



Узел VIII



Узел IX



Узел X



Узел XI



Узел XII



Узел XIII



Узел XIV



Узел XV



Узел XVI



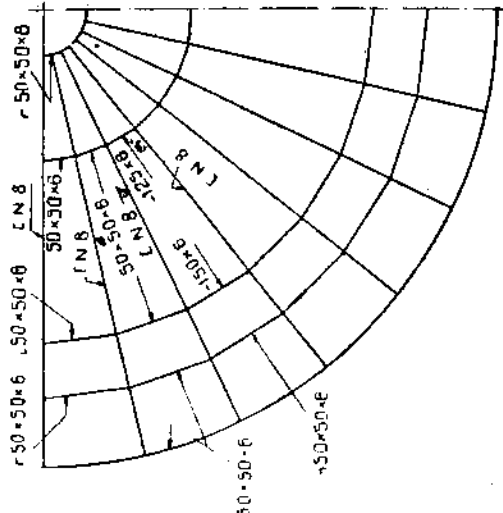
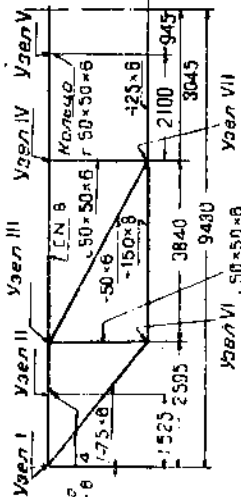
Узел XVII



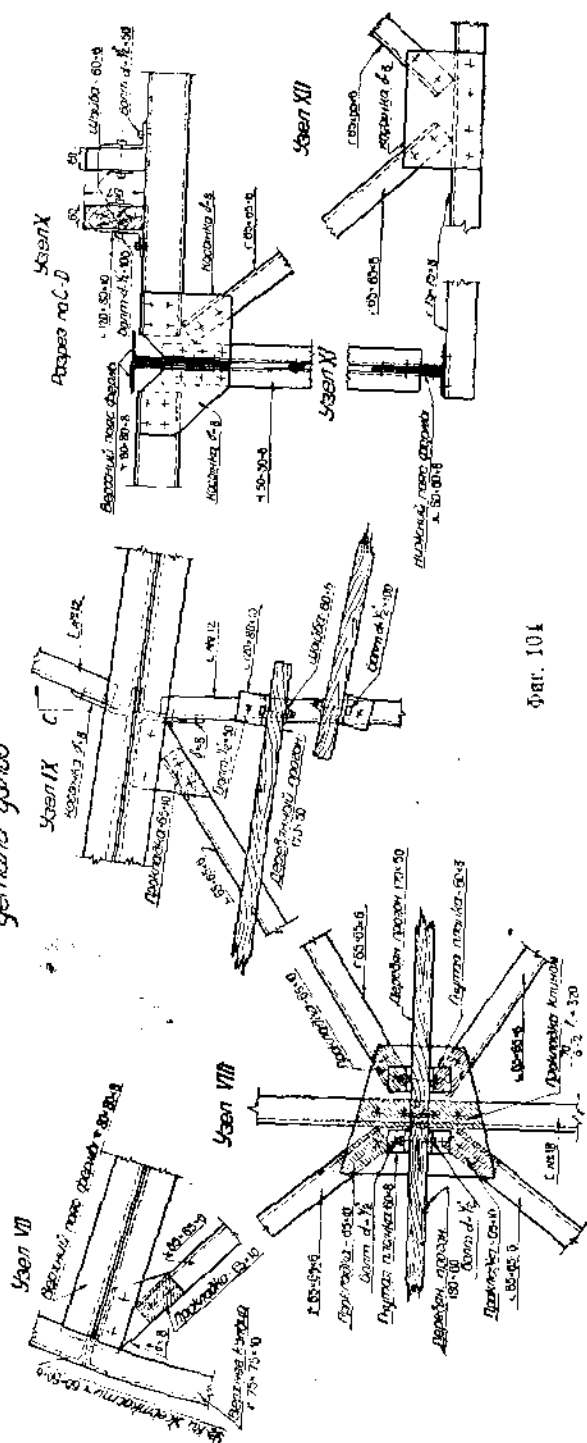
Узел XVIII

Фиг. 101

Стропила для резервуара $D=9480$ мм



Фиг. 100



Из чертежа видно, что:

$$h_{AB} = f_B \lg a.$$

Значение f_B определяется элементарным образом по радиусу OB и центральному углу BOB .

Аналогично:

$$h_{AC} = f_c \operatorname{tg} \alpha.$$

Разница высот точек C и B определяется из уравнения:

$$h_{CB} = h_{AB} - h_{AC} = \\ = (f_B - f_C) \operatorname{tg} \alpha.$$

Во избежание больших сосредоточенных нагрузок на верхние пояса резервуара к последним прикреплены угольники жесткости (по два угольника $60 \times 60 \times 6$) под опорами стропил на протяжении трех верхних поясов. Прогонки упираются на стенки резервуара помощью башмаков из угольников $75 \times 75 \times 8$. Прочие детали конструкции ясны из чертежей.

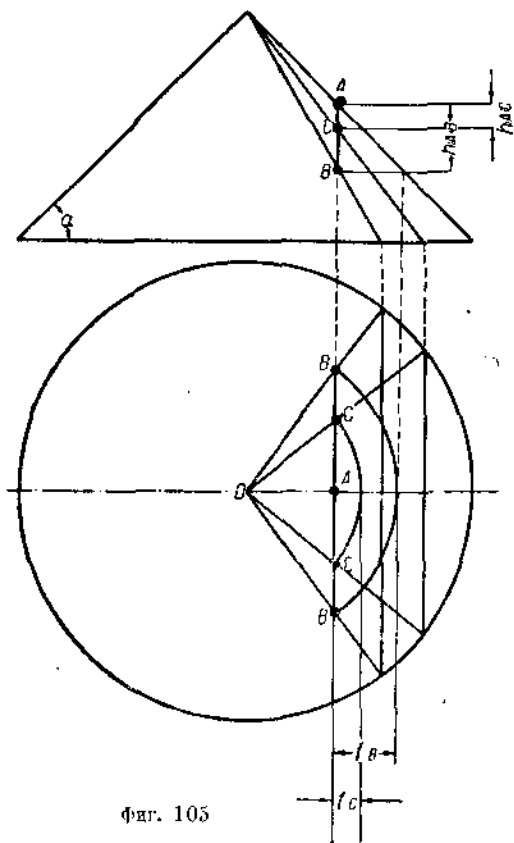
Описанная конструкция покрытия весьма удачна как с конструктивной стороны, так и с точки зрения комбинации материалов — железа и дерева; благодаря этой комбинации, а также целесообразному выбору схемы строил вес покрытия на 1 м² его основания составляет всего 24 кг — величина

на весьма незначительная, принимая во внимание большую снеговую нагрузку — 120 кг/м^2 . Эта конструкция стропил применяется у нас в последнее время самым широким образом для пролетов свыше 20 м (резервуары емкостью свыше 4500 м^3).

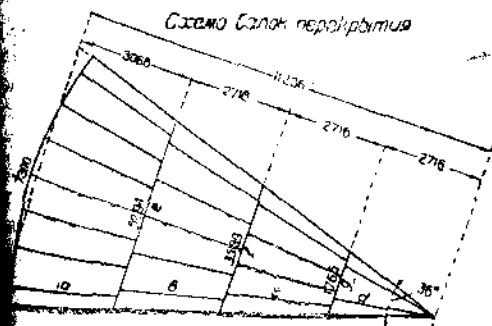
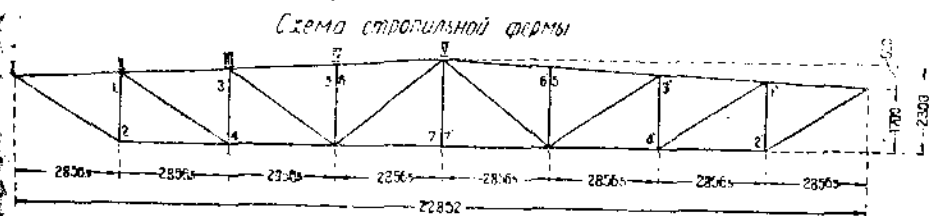
Ниже даем статический расчет этих стропил; расчетные и конструктивные нормы приняты согласно Единых норм строительного проектирования и ТУ. Снеговая нагрузка принята 120 кг/м^2 . Весь расчет проведен в табличной форме (табл. 1—5). На детальном описании расчета, в частности диаграммы усилий (фиг. 107, 108), а также подбора сечений стропил и балок мы не останавливаемся, поскольку все эти вопросы изложены в курсах статистики сооружений и металлических конструкций.

2. Конические покрытия. Рассмотрим в отдельности железные и деревянные конические покрытия.

а) Железные конические покрытия. На фиг. 109 изображено коническое покрытие небольшого резервуара емкостью 94 м^3 . По окруж-



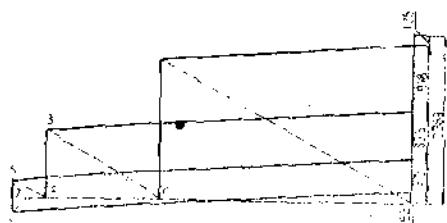
Фиг. 105



Количество ферм — 3 шт

Фиг. 106

ности — восемь стропильных ног из угольников $50 \times 50 \times 6$, сопряженных в коньке на опорном кольце из угольников $50 \times 50 \times 6$.



Фиг. 107

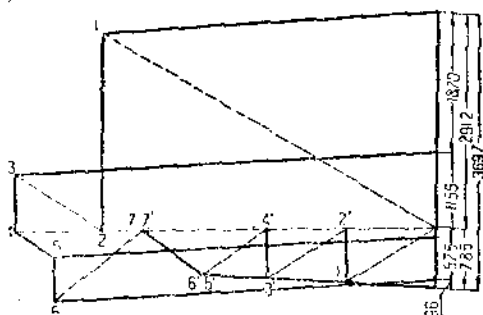
ных и центральном опорном кольце. пиленого леса по ОСТ 93 (прил. 20).

На фиг. 112, 113 изображена герметическая коническая крыша на деревянных стропильных ногах для резервуара емкостью 630 м^3 (расчет и конструкция этого резервуара — см. § 2, 3, 4 настоящей главы).

По окружности — 28 радиально расположенных стропильных ног сечением 200×60 , сопряженных в кланалом опорном кольце $d = 450 \text{ мм}$. К стенкам резервуара стропильные ноги укреплены помощью банмаков из угольников $65 \times 65 \times 8$. В целях устойчивости

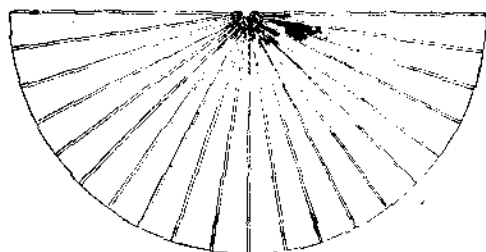
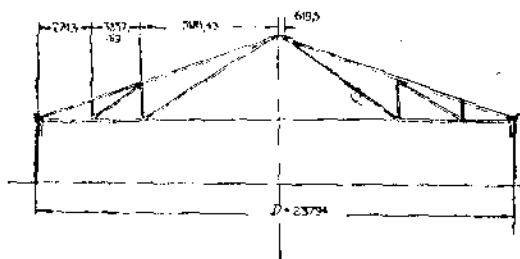
На фиг. 110, 111 представлены решетчатые конические стропила пролетом 23794 мм для перекрытия резервуара емкостью 4600 м^3 . По окружности — 40 стропил. Все конструктивные детали ясны из чертежа.

б) Деревянные конические покрытия состоят из деревянных стропильных ног, сопряженных в коньке на опорном кольце. Стропильные ноги — из стандартного



Фиг. 108

Покрытие резервуара см. 4600 м^3



Фиг. 110

покрытия в целом стропильные ноги заклиены у опорного кольца и связаны поперечными кольцами из брусков 200×60 . Описываемая конструкция стропил наиболее употребительна и применена у нас для резервуаров диаметром до 20 м .

В случае негерметической крыши настил из листового железа заменяется кровельным железом, располагаемым по обрешетке из теса или деревянных брусочков. На фиг. 114, 115 изображена конструкция такого покрытия; центральное опорное кольцо сделано литым, что, вообще говоря, не рекомендуется вследствие сложности получения фасонного литья с завода. Средняя кольцевая связь в этом случае

ПОКРЫТИЕ РЕЗЕРВУАРА ЕМК. 104 м³

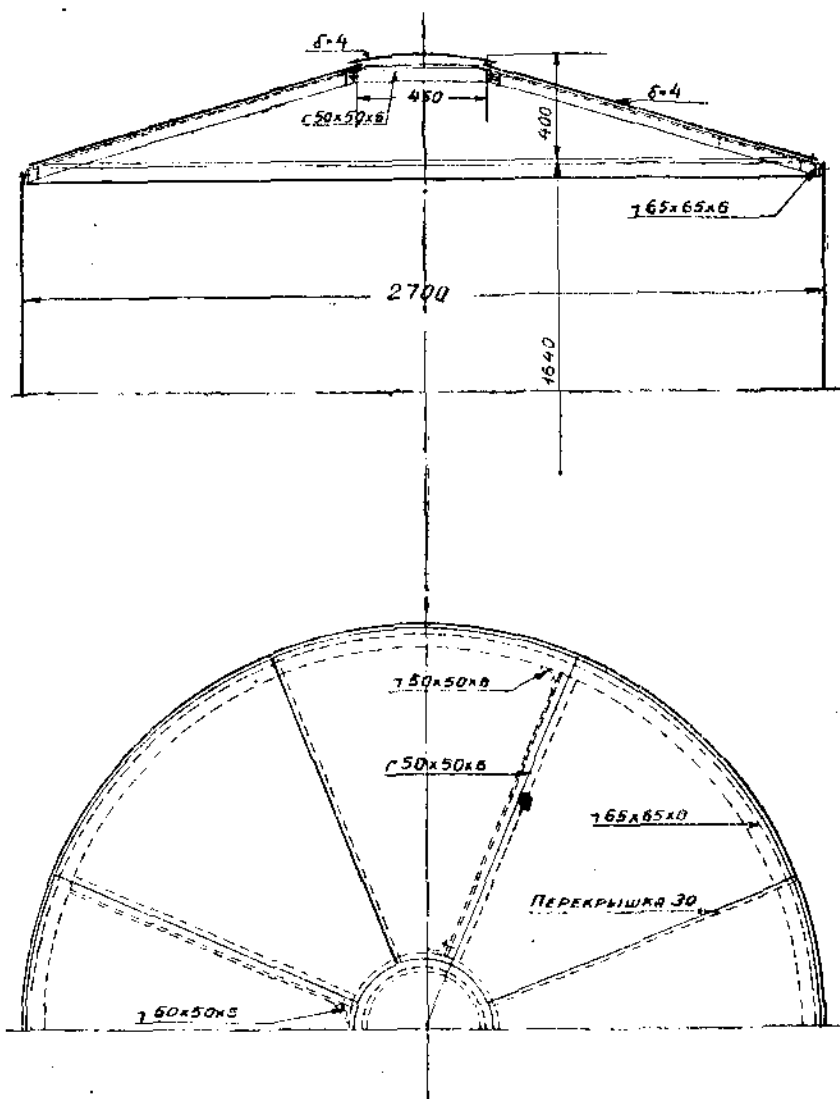


Таблица 1
Подбор сечений и проверка напряжений деревянных прогонов

Панкование балок	Пролет l в м	Среднее расстояние между балками в м	Нагрузка в кг/м					Момент в кг·см			Напряжения $k = \frac{M}{W}$ в кг/см ²	Прочность $f = \frac{5 \text{ кг}}{24 \text{ ЕП}}$ в м	Опорная реакция $A = \frac{pl}{2}$ в кг
			от собств. веса балки	от веса пв-сти 25 т	от света 120 т	полная нагрузка p	от равно-мерной на-грузки $\frac{pl^2}{8}$	от веса чопового 80 т	расчетный 4	Равная сечения в см	Момент сопротив-ления W в см ³		
a	3,30	0,90	8,1	22,5	103	133,6	18870	6600	25470,6	18 × 19	324	$1,11 = \frac{1}{297}$	229
b	2,85	0,88	6,4	22,0	105,6	134,0	13600	5700	19830,5	17 × 17	240	$0,89 = \frac{1}{320}$	191
c	2,80	0,66	6,4	16,5	79,2	102,1	10000	5600	15630,5	17 × 17	240	$0,69 = \frac{1}{406}$	143
d	2,76	0,44	6,4	11,0	52,8	70,2	6640	5500	12140,5	17 × 17	240	$0,53 = \frac{1}{520}$	97

Примечание. Балки рассчитаны, как свободно лежащие с равномерно распределенной нагрузкой.

Таблица 2

Расчет нагрузочных площадей

Элементы покрытия	Нагрузочная площадь в м ²		
	слева	справа	полная
Стенка резервуара	—	10,24	10,24
Балка I	9,21	6,89	15,60
» f	5,59	4,00	9,59
» g	3,19	1,60	4,79
Узел V	0,80	—	0,80

Площадь сектора 41,02 м²

Подбор сечений и проверка напряжений железных иоперечин

Наименование балок	Пролет l в м	Нагрузочная площадь F в м ²	Нагрузка в кг				Момент P_l в кгсм	Размер сечений	Момент сопротивления W в см ³	Напряжение $\sigma = \frac{M}{W}$ в кг/см ²	Прогиб $f = \frac{5 P l^3}{24 E H}$ в см	Опорная реакция R в кг $A = \frac{P}{2}$
			от собственного веса балки	от веса пешеходов и прол. дождя 35 в	от веса 120 е	полная нагрузка P						
1	5,30	15,60	122	546	1870	2538	168 000	Швелл. № 18	159,2	1 060	$1,64 = \frac{1}{323}$	1 269
2	3,53	9,59	48	337	1 155	1 540	68 030	Швелл. № 12	61,9	1 100	$1,11 = \frac{1}{317}$	770
3	1,77	4,79	20	168	576	764	16 900	Швелл. № 10	42,7	396	$0,12 = \frac{1}{1440}$	382

Примечание. Балки рассчитаны, как свободно лежащие с равномерно распределенной нагрузкой.

Таблица 4

Расчет узловых нагрузок

Узел	Постоянная нагрузка в кг			Сумма в кг ²
	Ферма	Поперечн. балки	Продольн. балки и настил	
I	125	—	—	125
II	250	122	546	918
III	250	48	337	635
IV	250	20	168	438
V	125	—	28	153
Всего . . .	—	—	—	2249
				3397

1 См. диаграмму усилий — фиг. 107.

2 См. диаграмму усилий — фиг. 108.

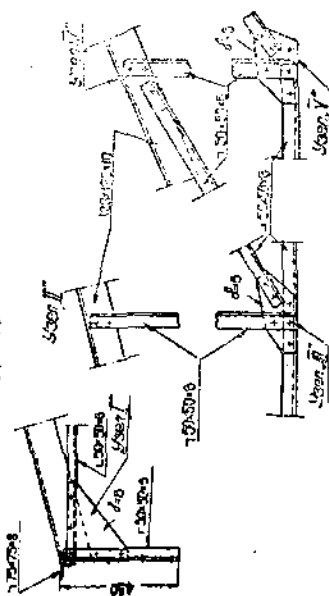
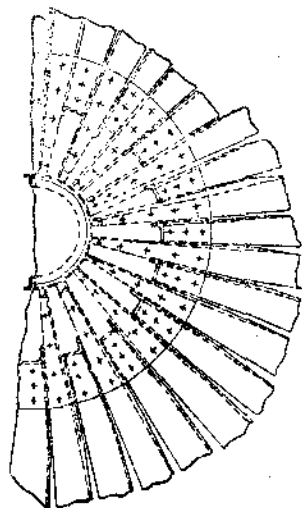
Таблица 5

Подбор сечений и проверка напряжений в стержнях фермы

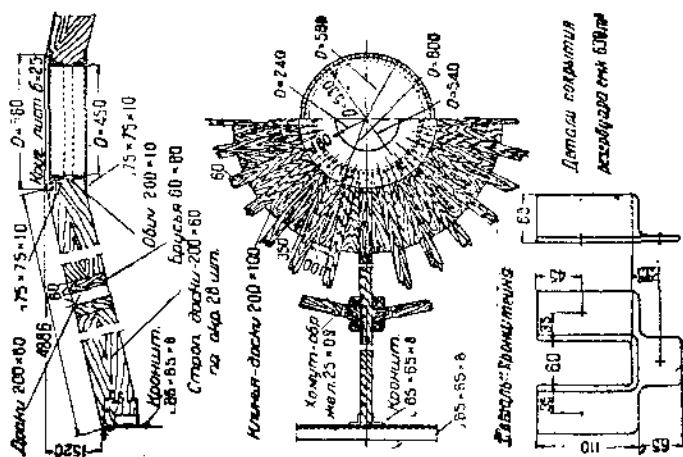
Наименование стержней	Условия стержней в кг				Размеры сечений в мм	Площадь сечения в см ²			Напряженная стропка в кг/см ²	Размеры сечений в мм					Напряженная в кг/см ²	Количество шпилек	Количество строп	Напряженная в кг/см ²	
	Постоянная нагрузка	Снег		Расчетно		ω	ω	детто		ω	ω	детто							
		на левую	на правую																
													на левую	на правую					
S ₁	- 3 400	- 4 520	- 1 200	- 9 120	80 × 80 × 8	21,54	—	—	286	2,43	118	0,46	17	4	8	8	532	1 670	
S ₂	- 4 925	- 5 675	- 2 250	- 12 850	80 × 80 × 8	24,54	—	—	286	2,43	118	0,46	17	—	—	—	—	—	
S ₃	- 5 350	- 5 125	- 3 175	- 13 650	80 × 80 × 8	24,54	—	—	286	2,43	118	0,46	17	—	—	—	—	—	
S ₄	- 5 350	- 5 125	- 3 175	- 13 650	80 × 80 × 8	24,54	—	—	286	2,43	118	0,46	17	5	10	8	8	601	2 010
T ₁	+ 3 925	+ 5 225	+ 1 400	+ 10 550	60 × 60 × 6	13,82	11,78	—	—	—	—	—	—	17	4	8	8	581	1 943
T ₂	+ 3 375	+ 4 500	+ 1 200	+ 9 075	60 × 60 × 6	13,82	11,78	—	—	—	—	—	—	17	3	6	8	667	2 225
T ₃	+ 4 900	+ 5 650	+ 2 250	+ 12 800	60 × 60 × 6	13,82	11,78	—	—	—	—	—	—	17	—	—	—	—	—
T ₄	+ 5 175	+ 3 925	+ 3 925	+ 13 025	60 × 60 × 6	13,82	11,78	—	—	—	—	—	—	17	6	6	8	957	—
1-2	+ 1 975	- 2 650	- 725	- 5 350	50 × 50 × 6	11,38	—	—	—	—	—	—	—	14	3	6	8	579	1 590
2-3	+ 1 800	+ 1 375	+ 1 250	+ 4 425	50 × 50 × 6	11,38	9,70	—	—	—	—	—	—	14	4	4	8	719	—
3-4	- 975	- 750	- 675	- 2 400	50 × 50 × 6	11,38	—	—	—	—	—	—	—	14	2	4	8	390	1 070
4-5	+ 550	- 675	+ 1 100	+ 1 650	50 × 50 × 6	11,38	9,70	—	—	—	—	—	—	14	4	4	8	238	—
5-6	- 450	- 575	0	- 1 025	50 × 50 × 6	11,38	—	—	—	—	—	—	—	14	2	4	8	106	457
6-7	+ 225	+ 1 525	- 1 000	+ 1 750	50 × 50 × 6	11,38	9,70	—	—	—	—	—	—	14	4	4	8	281	—

Примечания. 1. Длины стержней релакси и сток раскосов при расчете на продольный изгиб приняты 0,9 от их теоретической длины. 2. Условие нагрузки от веса продольных балок и настла получены путем умножения нагрузочной площади на 35 (вес в кг/м²). Условие нагрузки от веса снега получены путем умножения тех же площадей на 120 (вес снега в кг/м²).

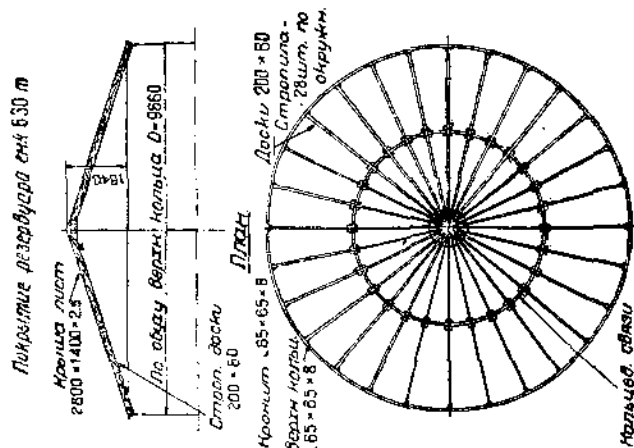
1) Сечение ПГ, 2) Сечение ЛЛ, 3) Сечение П, 4) Сечение ЛГ



Фиг. 111

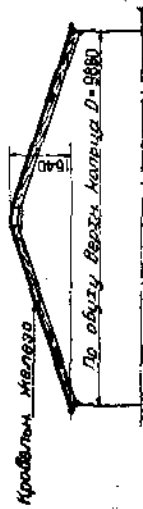


Фиг. 112

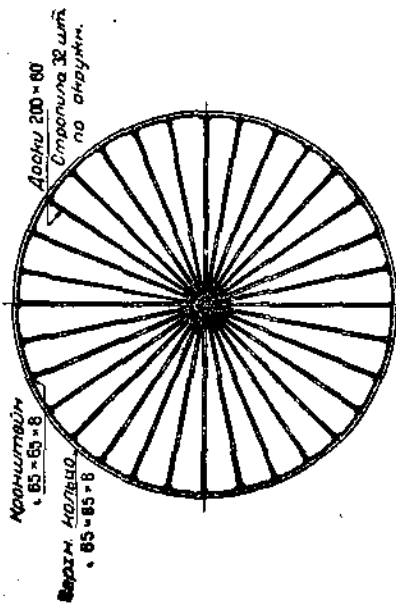


Фиг. 112

Полный разрез сн 630 м

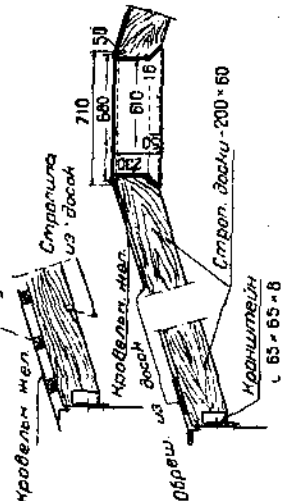


План

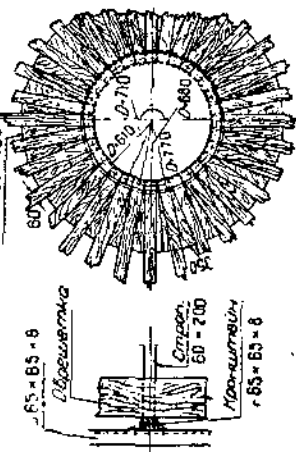


Фиг. 114

Обрешетка из брусков



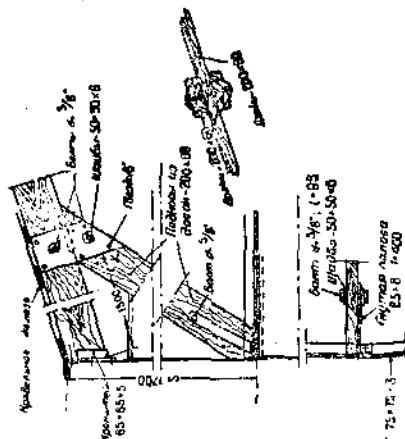
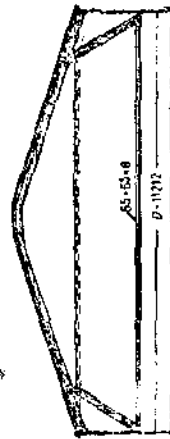
Клинья-доски 200 × 100



Деталь покрытия разрезом сн 630 м

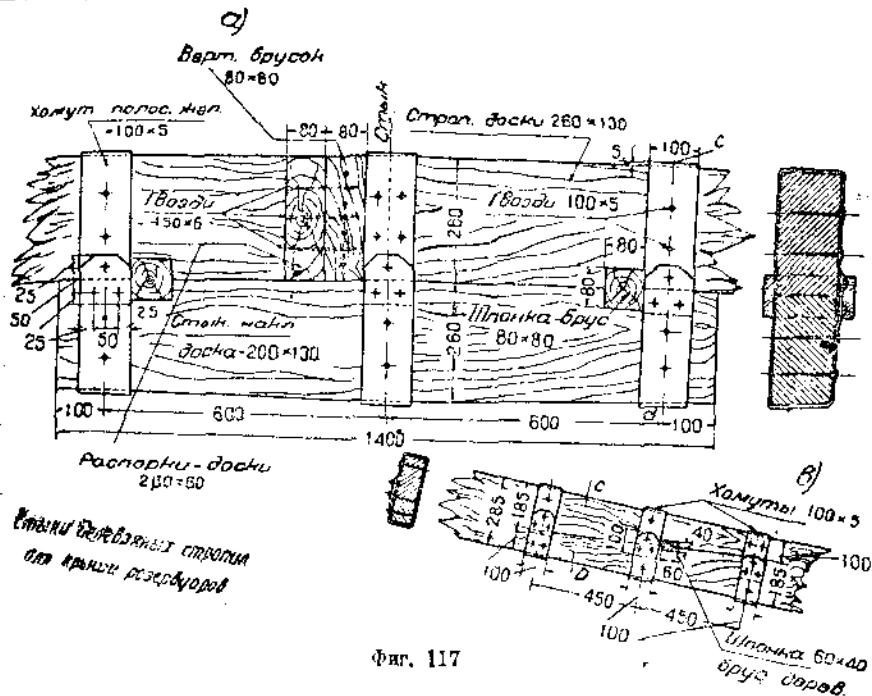
Фиг. 115

Полный разрез сн 1122 м



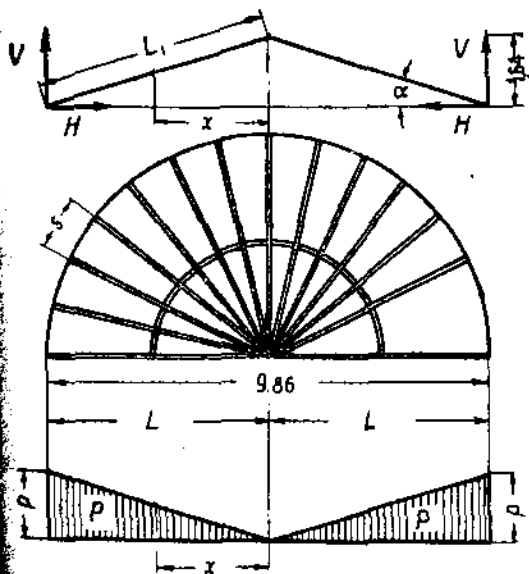
Фиг. 116

отсутствует, так как устойчивость покрытия обеспечена деревянной обрешеткой, связывающей стропильные ноги.



Фиг. 117

На фиг. 116 изображен еще один вариант конической негерметической крышки на деревянных прогонах; в целях уменьшения сечения стропиль-



Φαρ. 118

ной ноги последняя снабжается подкосом, упирающимся в стенку резервуара. Распор от подкоса воспринимается специальным кольцом по поверхности резервуара из угольника $65 \times 65 \times 8$.

На фиг. 117 представлены конструкции стыка деревянных стропильных ног для описанных нами типов покрытия для случаев, когда длина ноги превышает стандартные размеры брусьев. Из двух изображенных вариантов более надежен стык типа (з).

Ниже приводим статический расчет деревянного стропильного покрытия, изображенного на фиг. 112, 113.

Пара диаметрально противоположных стропильных ног условно рассчитывается, как трехшарнирная арка с шарнирами у стенок резервуара и в центральном опорном кольце, нагруженная сплошной треугольной нагрузкой по схеме согласно фиг. 118.

В стропильной ноге возникает продольная сжимающая сила S и изгибающий момент M , по которым определяется сечение ноги.

Расчетные нагрузки:

$$\begin{array}{l} \text{вес листового железа} \quad \delta = 2,5 \text{ мм} \dots 21 \text{ кг} \\ \text{» деревянных конструкций} \dots \dots \dots 20 \text{ »} \\ \text{» снега} \quad \frac{45 - 18,3}{45} \cdot 120 \dots \dots \dots 71 \text{ »} \\ \hline \text{Всего вес покрытия} \quad 112 \text{ кг/м}^2 = 0,012 \text{ кг/см}^2 \end{array}$$

Помимо того при расчете стропильной ноги учитывается сосредоточенная нагрузка 80 кг посредине пролета (вес человека с инструментом).

Равномерная нагрузка у опоры: $p = 0,012s = 0,012 \cdot 110 = 1,23 \text{ кг/см}$.

Полная нагрузка на стропила: $P = p \frac{l}{2} = \frac{1,23 \cdot 493}{2} = 303 \text{ кг}$.

Согласно обозначениям, принятым на фиг. 118, имеем:

$$\begin{aligned} s &= \frac{2 \cdot 4,93}{28} = 1,10 \text{ м}; \\ \operatorname{tg} \alpha &= 0,333; \\ \alpha &= 18^\circ 26'; \\ \cos \alpha &= 0,949; \quad \sin \alpha = 0,3145; \\ L_1 &= \frac{L}{\cos \alpha} = \frac{4,93}{0,949} = 5,22 \text{ м}. \end{aligned}$$

Продольная сжимающая сила в любом сечении на расстоянии x от конька¹ определится из выражения:

$$\begin{aligned} S &= V \sin \alpha + H \cos \alpha + P \frac{L^2 - x^2}{L^2} \cdot \sin \alpha; \\ V &= P; \quad H \cdot \frac{L}{3} = VL - \frac{2}{3} PL; \quad H = P; \\ S &= P \left(\cos \alpha + \frac{x^2}{L^2} \cdot \sin \alpha \right). \end{aligned}$$

Значение продольной силы в месте максимального значения момента от треугольной нагрузки (при $x = 0,577 L$):

$$s = 1,054 P;$$

откуда:

$$s = 1,054 \cdot 303 = 320 \text{ кг}.$$

При сплошной треугольной нагрузке значение максимального изгибающего момента:

$$M_1 = 0,128 PL = 0,128 \cdot 303 \cdot 493 = 19\,123 \text{ кгсм}.$$

¹ Пренебрегая сосредоточенной нагрузкой 80 кг.

Изгибающий момент от сосредоточенной нагрузки:

$$M_1 = \frac{80 \cdot 493}{4} = 9860 \text{ кгсм.}$$

Максимальный изгибающий момент:

$$M = 19120 + 9860 = 28980 \text{ кгсм.}$$

Сечение стропильной ноги принято из стандартного бруса $200 \times 60 \text{ мм}$ (фиг. 112, 113).

Напряжение бруса рассчитывается по двучленной формуле:

$$k = \frac{M}{W_x} + \frac{S}{\varphi \omega}.$$

Момент сопротивления бруса относительно оси $x-x$:

$$W_x = \frac{6 \cdot 20^3}{6} = 400 \text{ см}^3.$$

Площадь сечения бруса:

$$\omega = 20 \cdot 6 = 120 \text{ см}^2.$$

Минимальный момент инерции бруса относительно оси $y-y$:

$$I_y = \frac{20 \cdot 6^3}{12} = 360 \text{ см}^4.$$

Радиус инерции бруса относительно той же оси:

$$r_y = \sqrt{\frac{360}{120}} = 1,73 \text{ см.}$$

Свободная длина ноги:

$$l = \frac{5,22}{2} = 2,61 \text{ м;}$$

$$\frac{l}{r_y} = \frac{261}{1,73} = 150.$$

Согласно Единых норм строительного проектирования:

$$\varphi = 0,13;$$

формула

$$k = \frac{28980}{400} + \frac{320}{0,13 \cdot 120} = 72 + 20 = 92 \text{ кг/см}^2.$$

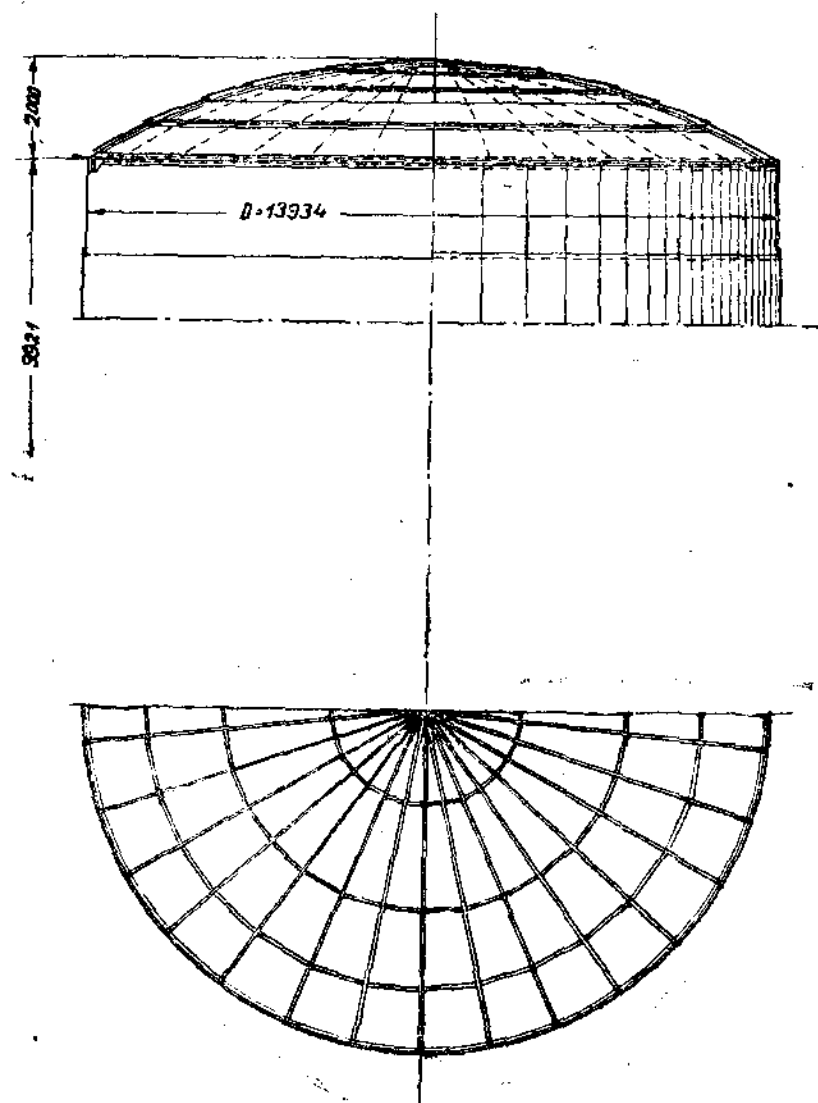
Остается еще проверить прогиб.

Момент инерции сечения относительно оси $x-x$:

$$I_x = \frac{6 \cdot 20^3}{12} = 4000 \text{ см}^4.$$

Модуль упругости дерева принят $100\,000 \text{ кг/см}^2$.

СФЕРИЧЕСКАЯ КРЫША РЕЗЕРВУАРА ЕМК. 1500м³



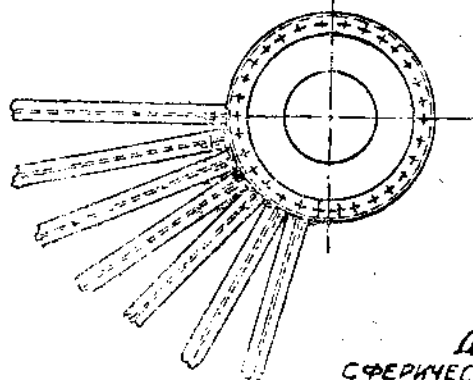
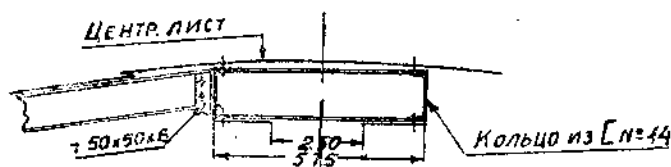
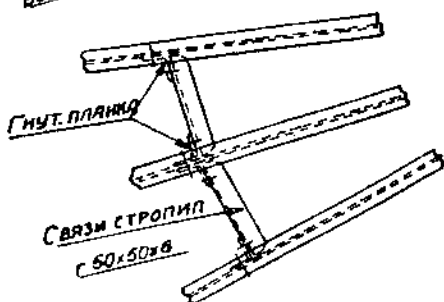
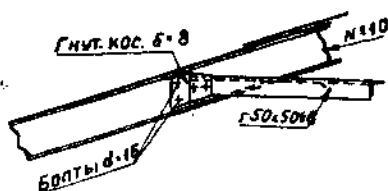
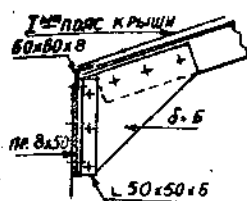
Фиг. 119

Прогиб от равномерной нагрузки определяется по формуле:

$$f_1 = 0,01304 \cdot \frac{PL^3}{EI_x} = \frac{0,01304 \cdot 303 \cdot 493^3}{100\,000 \cdot 40\,000} = 1,17 \text{ см.}$$

Прогиб от сосредоточенной нагрузки в 80 кн:

$$f_2 = \frac{80L^3}{EI \cdot 48} = \frac{80 \cdot 493^3}{100\,000 \cdot 4000 \cdot 48} = 0,50 \text{ см.}$$



ДЕТАЛИ
СФЕРИЧЕСКОЙ КРЫШИ
РЕЗЕРВУАРА емк. 1500 м³

Фиг. 120

Максимальное значение прогиба:

$$f = f_1 + f_2 = 1,17 + 0,50 = 1,67 \text{ см} = \frac{1}{292} L.$$

3. Сферические покрытия. Сферическое покрытие пролетом 934 мм изображено на фиг. 119, 120. По окружности — 30 стропильных из двутавров № 10, согнутых в вертикальной плоскости относительно

горизонтальной оси. Сопряжение стропильных ног в коньке и прикрепление их к стенкам резервуара ясно из чертежа. Устойчивость стропильных ног обеспечена тремя кольцевыми связями из угольников 50×50×8.

Приводим ниже расчет стропильных сферических крыш типа, изображенного на фиг. 119, 120.

Пара диаметрально противоположных стропильных ног рассматривается, как трехшарнирная арка (фиг. 121) с шарнирами в точках A , B , C и нагруженная сплошной треугольной нагрузкой.

Вводя обозначения, принятые на фиг. 121: p — равномерная нагрузка у опоры в кг/м^2 ; P — полная нагрузка на одно стропило $P = \frac{pL}{2}$. Рассмотрим два основных случая нагрузки:

1. Симметричная треугольная нагрузка $P = \frac{pL}{2}$, приложенная по обеим сторонам среднего шарнира.

Распор H определяется из уравнения моментов относительно точки B :

$$H \cdot f = P \cdot \frac{L}{3}; \quad H = \frac{PL}{3f}.$$

Изгибающий момент стропильной ноги в любом сечении на расстоянии x от среднего шарнира A выражается формулой:

$$M_x = Hy - \frac{Px^3}{3L^2} = \frac{PL}{3} \left(\frac{y}{f} - \frac{x^3}{L^3} \right);$$

но так как

$$y = R(1 - \cos \alpha) \quad \text{и} \quad x = R \sin \alpha,$$

то

$$M_x = \frac{PL}{3} \left[\frac{R(1 - \cos \alpha)}{f} - \frac{R^3 \sin^3 \alpha}{L^3} \right].$$

Фиг. 121

Приравнявая $\frac{dM_x}{d\alpha}$ нулю, получим

то значение α , при котором будет иметь место максимальное значение M_x .

$$\sin 2\alpha = \frac{2L^3}{3fR^2}.$$

При стрелке f в пределах $\frac{L}{5} - \frac{L}{3}$ максимальное значение момента будет при $\alpha = 0,664$ и выражается формулой:

$$M = 0,044 PL.$$

Продольная сила в любом сечении стропильной ноги на расстоянии x от среднего шарнира выражается формулой (фиг. 122):

$$S_x = H \cos \alpha + P_x \sin \alpha;$$

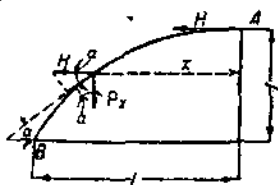
где

$$P_x = \frac{x^2}{L^2} \cdot P.$$

В месте наибольшего момента:

$$P_x = 0,435 P;$$

$$S = \frac{P}{3} \left(\frac{L}{f} \cos \alpha + 1,805 \sin \alpha \right)^1.$$



Фиг. 122

Значение угла α в месте наибольшего момента может быть выражено через L и f следующим образом:

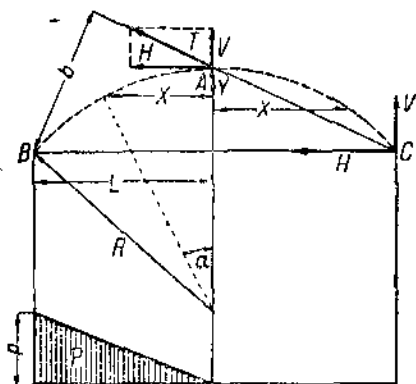
$$\sin \alpha = \frac{x}{R},$$

но так как

$$R = \frac{L^2 + f^2}{2f},$$

то при $x = 0,66 L$

$$\sin \alpha = \frac{1,32 L f}{L^2 + f^2}.$$



Фиг. 123

2. Односторонняя нагрузка $P = \frac{pL}{2}$ приложена только на одной стороне покрытия (фиг. 123).

Аналогично предыдущему распор H определяется из уравнения моментов относительно точки B :

$$T \cdot b = P \cdot \frac{L}{3}; \quad T = \frac{PL}{3b}.$$

Вертикальные и горизонтальные слагающие реакции среднего шарнира определяются из уравнений:

$$\frac{V}{T} = \frac{b}{2L};$$

$$\frac{H}{V} = \frac{L}{f};$$

откуда

$$V = \frac{P}{6} \text{ (у опоры C),}$$

$$H = \frac{PL}{6f}.$$

¹ При $x = 0,6 L$ $S = \frac{P}{3} \left(\frac{L}{f} \cos \alpha + 1,08 \sin \alpha \right).$

Изгибающий момент стропильной ноги в любом сечении на расстоянии x от среднего шарнира.

Для левой нагруженной части арки:

$$M_x = \frac{PL}{6f} \cdot y + \frac{fx}{6} - \frac{Px^2}{3L^2} = \frac{PL}{6} \left(\frac{y}{f} + \frac{x}{L} - \frac{2x^2}{L^2} \right);$$

но так как

$$y = R(1 - \cos \alpha); \quad x = R \cdot \sin \alpha,$$

то

$$M_x = \frac{PL}{6} \left[\frac{R(1 - \cos \alpha)}{f} + \frac{R \sin \alpha}{L} - \frac{2R^2}{L^2} \sin^2 \alpha \right].$$

Приравняв $\frac{dM_x}{d\alpha}$ нулю, получим то значение α , при котором будет иметь место максимальное значение M_x ; α определится из уравнения:

$$\frac{L}{f} \operatorname{tg} \alpha + 1 - 6 \frac{R^2}{L^2} \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = 0.$$

При значении f в пределах $\frac{L}{5} - \frac{L}{3}$ максимальное значение момента будет при $x \approx 0,6 L$ и выражается формулой:

$$M = 0,084 P.$$

Для правой ненагруженной части арки:

$$M_x = V(L - x) - H(f - y).$$

Подставляя в это уравнение вместо величин H и V их значения, получим:

$$M_x = \frac{PL}{6} \left(\frac{y}{f} - \frac{x}{L} \right)$$

или

$$M_x = \frac{PL}{6} \left[\frac{R}{f}(1 - \cos \alpha) - \frac{R \sin \alpha}{L} \right].$$

Значение α , при котором имеет место максимальное значение M_x , определяется из уравнения:

$$\frac{dM_x}{d\alpha} = 0,$$

которое дает:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L}{f}.$$

При значениях f от $\frac{L}{5} - \frac{L}{3}$ наибольший момент имеет место при $x = 0,52 L$, и величина его равна:

$$M_{\max} = 0,044 P \cdot L.$$

Таким образом в случае односторонней нагрузки максимальный момент получается в нагруженной части арки.

Продольная сила в любом сечении стропильной ноги на расстоянии x от среднего шарнира (в нагруженной части арки) выражается формулой (фиг. 124):

$$S_x = V \sin \alpha + H \cos \alpha - (P - P_x) \sin \alpha,$$

где

$$V = \frac{5P}{6} \text{ и } H = \frac{PL}{8f}.$$

В месте наибольшего момента, т. е. при $x \approx 0,6L$, $P_x = 0,36P$ и $P - P_x = 0,64P$.

Подставляя последние значения V , H , $P - P_x$ в уравнение для S_x , получим:

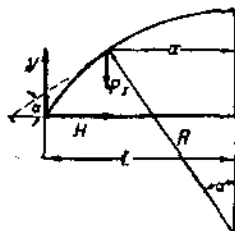
$$S = \frac{P}{6} \left(\frac{L}{f} \cos \alpha + 3,84 \sin \alpha \right).$$

Значение угла α в месте наибольшего момента в нагруженной части стропильной ноги может быть выражено через L и f :

$$\sin \alpha = \frac{x}{R}; \quad R = \frac{L^2 + f^2}{2f}.$$

При $x = 0,6L$

$$\sin \alpha = \frac{1,2 Lf}{L^2 + f^2}.$$



Фиг. 124

Приведем для примера расчет сферических стропил, изображенных на фиг. 118 и 119.

Диаметр резервуара равен 13,934 м;

$$L = \frac{13,934}{2} = 6,97 \text{ м}; \quad f = 2,0 \text{ м} = \frac{1}{3,325} L.$$

При 30-стропильных ногах расстояние между стропилами по окружности:

$$s = \frac{\pi \cdot 13,934}{30} = 1,46 \text{ м}.$$

Расчетные нагрузки:

$$\begin{aligned} \text{вес настила крыши и стропил} & \dots 45 \text{ кг/м}^2 \\ \text{снеговая нагрузка} & \dots 90 \text{ »} \end{aligned}$$

Полная нагрузка на одну стропильную ногу:

$$\text{от веса крыши и стропил} \dots P_k = \frac{45 \cdot 1,46 \cdot 6,97}{2} = 230 \text{ кг}$$

$$\text{» » снега} \dots P_c = \frac{90 \cdot 1,46 \cdot 6,97}{2} = 460 \text{ кг}.$$

Наибольший изгибающий момент¹ имеет место при односторонней снеговой нагрузке:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 0,44 P_k L + 0,084 P_c L = 6,97(0,44 \cdot 230 + 0,084 \cdot 460) = \\ &= 340 \text{ кг·м} = 34\,000 \text{ кгс·м}. \end{aligned}$$

¹ В целях упрощения расчета принято, что место положения максимального момента при постоянной и снеговой нагрузке совпадает.

Продольная сжимающая сила в месте максимального момента при $x=0,6$:

$$S = \frac{P_k}{3} \left(\frac{L}{f} \cos \alpha + 1,08 \sin \alpha \right) + \frac{P_c}{6} \left(\frac{L}{f} \cos \alpha + 3,84 \sin \alpha \right);$$

$$\frac{L}{f} = 3,325; \quad \sin \alpha =$$

$$= \frac{1,2 \cdot 6,97 \cdot 2}{6,97^2 + 2,0^2} = 0,318;$$

$$\cos \alpha = 0,948;$$

$$S = \frac{230}{3} (3,325 \cdot 0,948 + 1,08 \cdot 0,318) + \frac{460}{6} (3,325 \cdot 0,948 + 3,84 \cdot 0,318) = 590 \text{ кг.}$$

Сечение стропильной ноги — двутавр № 10;

$$\omega = 11 \text{ см}^2;$$

$$W = 36 \text{ см}^3;$$

$$\varphi \approx 0,57;$$

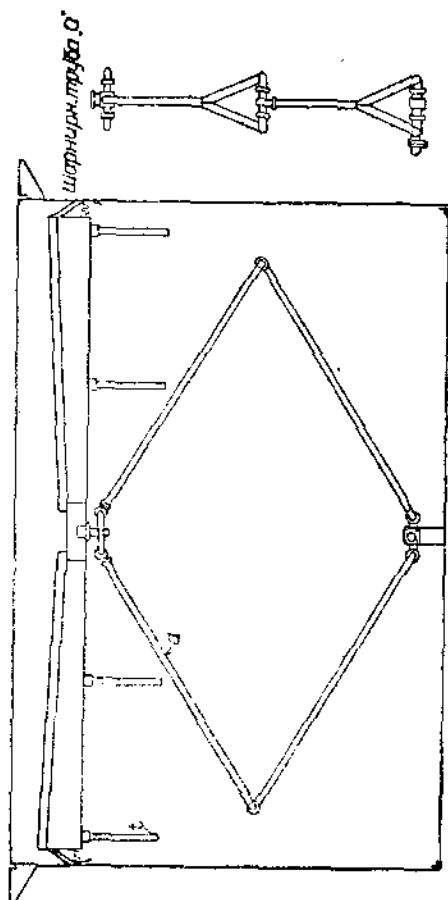
$$k = \frac{34000}{35} \pm \frac{590}{11 \cdot 0,57} = 1050 \text{ кгс/см}^2.$$

На описании конструкции и расчета сложных пространственных покрытий, так называемых куполов системы Шведлера, мы не останавливаемся, отсылая интересующихся этим вопросом к специальной литературе¹.

В заключение приводим оригинальную конструкцию так называемых плавающих крыш, применяемых в последнее время в Америке в нефтяных резервуарах.

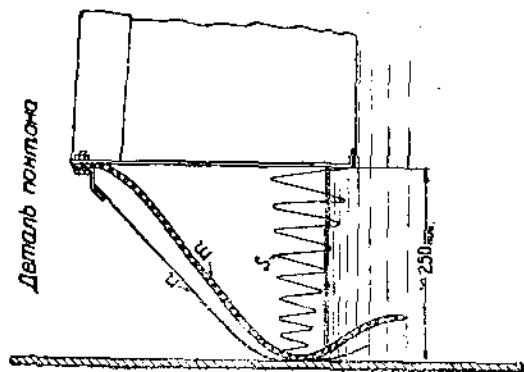
При этой конструкции совершенно отсутствует газовое пространство над

Плавающая крыша системы „Gallagher“



Фиг. 125

Деталь поплавка



¹ M. Förster, Die Eisenkonstruktionen, des Ingenieurhochbaues; И. С. Подольский, Пространственные фермы, Госиздат, 1931.

поверхностью крыш и устраняется тем самым возможность испарения и пожарной опасности от вышки газов.

На фиг. 125 показан эскиз конструкции плавающей крыши системы «Gallagher».

Плавающая крыша этой системы представляет собой ряд понтонов из листового железа в форме секторов, соединенных между собой болтами с прокладками из асбеста.

Для стока дождевой воды понтоны имеют уклон к центру крыши, откуда вода отводится по трубам α через днище наружу резервуара. Между стенками резервуара и стенками понтонов устраивается зазор около 250 мм, перекрываемый пружинящей прокладкой, поддерживаемый металлическими пластинками λ и пружинами ε на взаимном расстоянии 200 мм друг от друга.

Пружины прижимают прокладки к стенкам резервуара, создавая герметичность затвора по периферии крыши.

В случае большого понижения уровня нефти и значительного опускания крыши последняя становится подпорками α на дно резервуара.

§ 6. Принадлежности вертикальных резервуаров и арматура

Под принадлежностями вертикальных резервуаров подразумевается вся та гарнитура, которая поставляется обычно заводом, изготовляющим резервуар.

К этим принадлежностям относятся: 1) лазы, 2) люки и 3) лестницы.

Все остальные принадлежности резервуаров, поставляемые самим заказчиком или специальными заводами, изготовляющими резервуарную арматуру, и составляющие современное оборудование резервуаров, состоят из:

- а) шарнирной трубы;
- б) предохранительного вентиляционного клапана, работающего при нормальных условиях;
- в) предохранительного вентиляционного клапана, работающего в исключительных случаях при резких временных давлениях;
- г) автоматического указателя уровня жидкости, находящейся в резервуаре.

Переходим к последовательному описанию перечисленных выше принадлежностей и арматуры.

Принадлежности. 1. Лазы устраиваются в нижнем поясе каждого резервуара в количестве одного в резервуарах небольшой емкости (до 3000 м³) и по два, располагаемых диаметрально противоположно друг другу в резервуарах емкостью свыше 3000 м³.

Лазы имеют диаметр $d = 500$ мм и предназначаются для очистки резервуара.

Конструкция лазов для резервуаров различной емкости показана на фиг. 126.

Ниже приводится таблица с указанием размеров сечений элементов лаза в зависимости от толщины листов I пояса.

2. На крыше больших резервуаров с целью обеспечения лучшей вентиляции резервуара при очистке его устраивается вентиляционный люк.

личается только размерами сечений элементов, составляющих люк.

Диаметр вентиляционного люка также около 500 мм.

Конструкция люка видна на фиг. 127.

Люк для вентиляции
к резервуару емк. 4385 м³

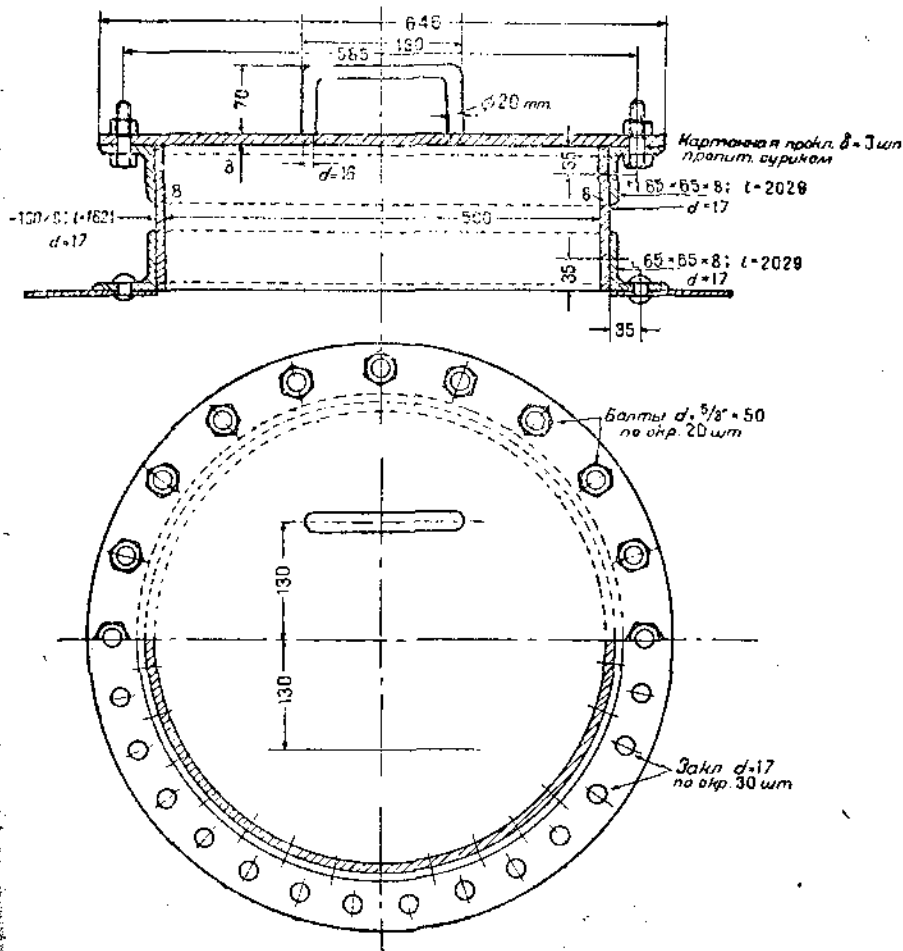


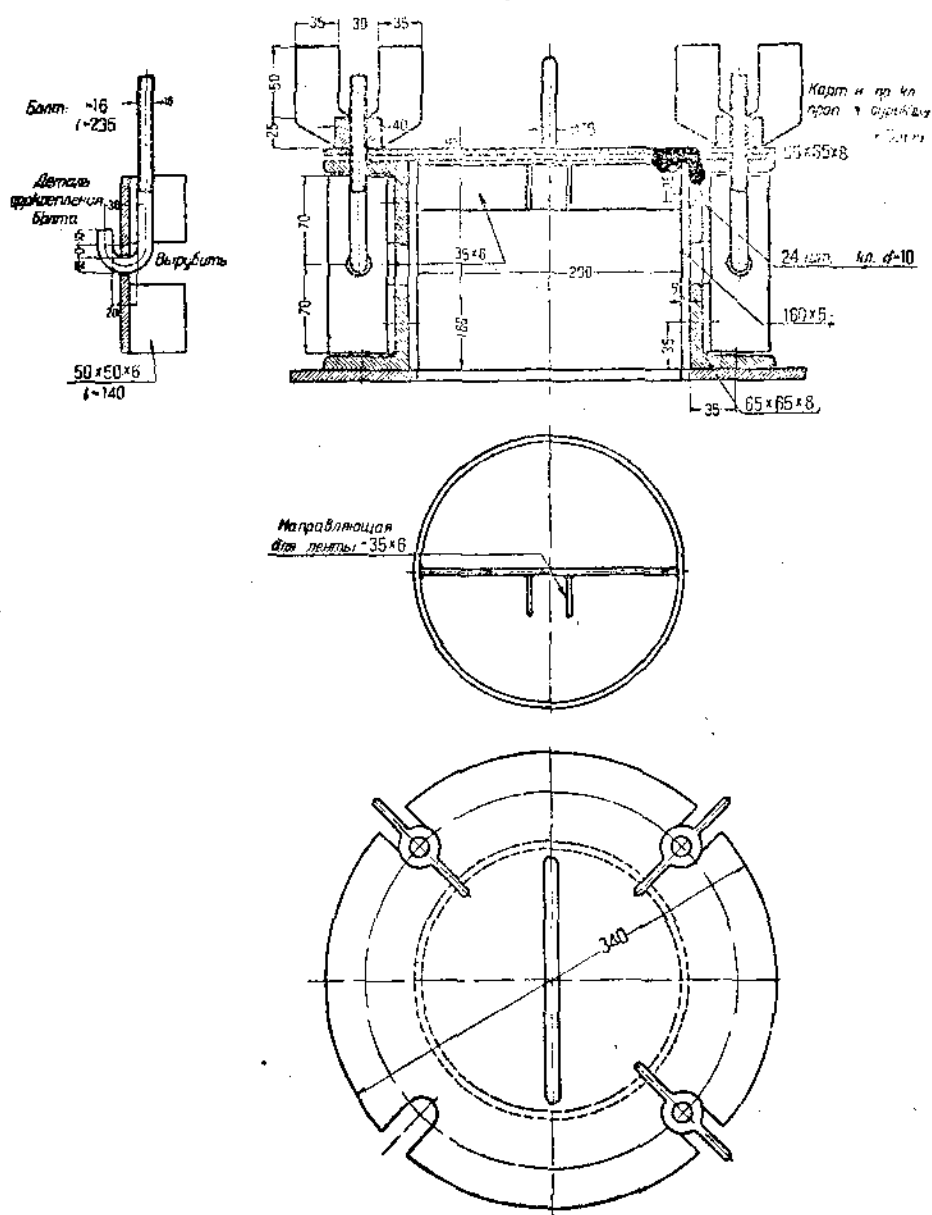
Fig. 127

Для замера продуктов, находящихся в резервуаре, на крыше резервуара, недалеко от края его, устраивается замерный люк, через который производится замер продуктов. Люк этот имеет диаметр 200—250 мм и должен иметь легко и быстро открывающуюся крышку. Лист крыши резервуара, на котором расположен замерный люк, должен быть прочно прикреплен к стропилам, чтобы уменьшить колебания крыши, в следствии, и люка под действием нагрузки лиц, производящих замер.

Ось замерного люка должна приходиться над серединой листа днища,

а не над швом днища, чтобы при каждом замере лот упирался в самый лист днища, а не в шов его. Замерный люк по диаметру должен иметь поперечины из полос для скольжения ленты рулетки и возможности более точного отсчета. В высоких резервуарах замерный люк должен иметь ограждение.

Люк на крыше резервуара для замера

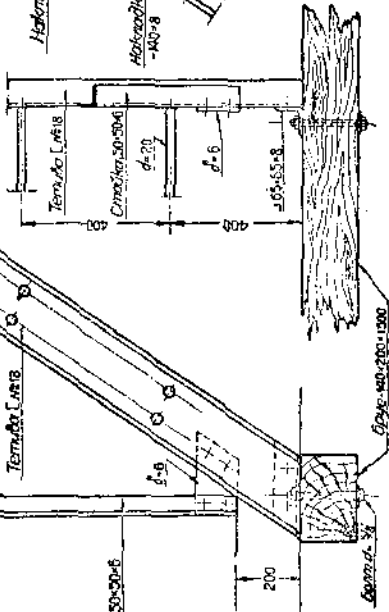
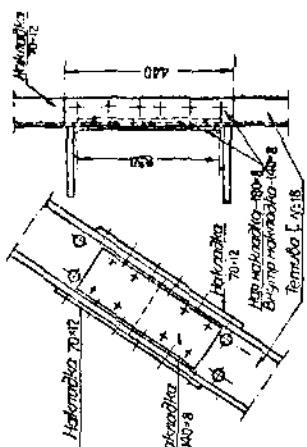
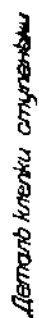


Фиг. 128

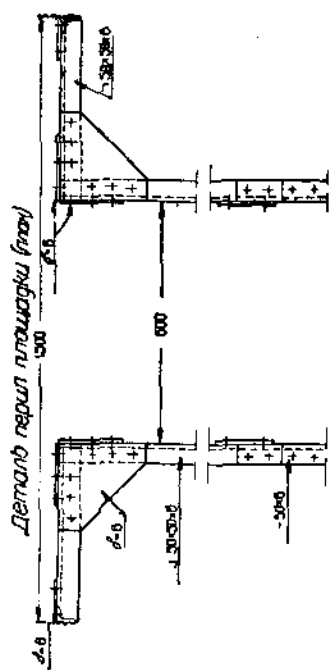
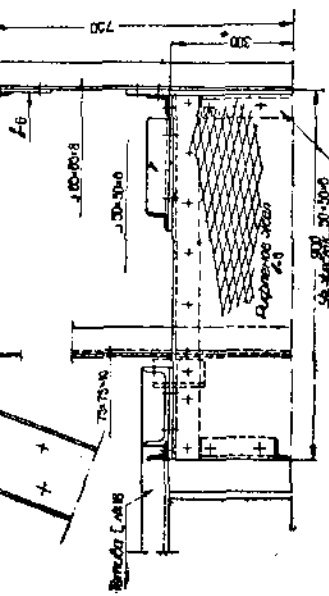
Точно так же в американских резервуарах для удобства замера сейчас же непосредственно под люком часто устанавливается труба с отвер-



Будь внимателен к своему А.

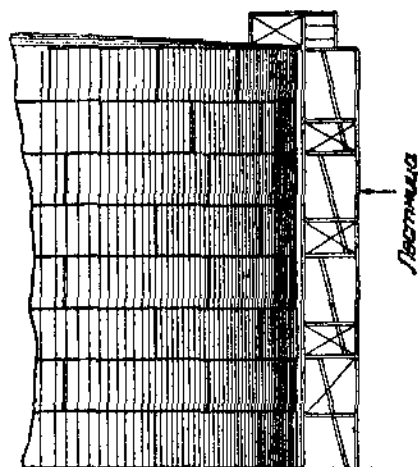


19



Фиг. 131

стями для сообщения внутреннего его пространства с пространством резервуара. Отверстия в трубе закрываются клапанами с поплавками. По мере заполнения резервуара поплавки всплывают и отырывают отверстия в трубе, сообщая трубу с резервуаром. Уровень жидкости в трубе защищен, таким образом, от колебаний, что позволяет производить замер более точно.



Фиг. 132

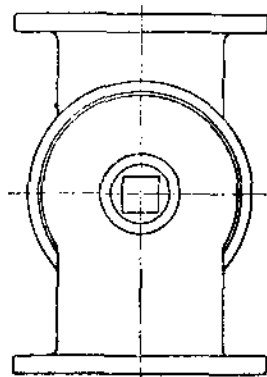
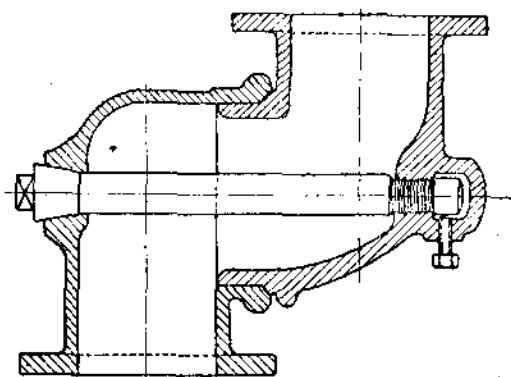
Практика установки таких замерных труб у нас показала, что при наличии их во время замеров получается искаженный состав жидкости при замере у самого дна резервуара, так как уровни грязи и воды (осадков), находящихся на дне резервуара в замерной трубе и в самом резервуаре, различны. Таким образом целесообразнее их не ставить.

3. Лестницы резервуаров устраиваются двух типов.

Первый тип лестницы, устанавливаемый на небольших резервуарах, — это тип лестницы-стремянки. На фиг. 129 показана конструкция этого типа лест-

ницы, применяемая при высоте резервуара до 5 м.

Лестница того же типа, но с площадкой и ограждением для замерного люка изображена на фиг. 139.



Фиг. 133

Второй тип лестницы, применяемый на больших резервуарах (высотой свыше 9 м), — наклонный, со ступеньками из круглого железа и с перилами (фиг. 130 и 131).

Лестница эта при весе около 130 м на 1 пог. м высоты резервуара вполне обеспечивает удобство восхождения на крышу для производства замера.

При больших высотах резервуара (свыше 12 м) иногда применяются лестницы каркасного типа, изображенного на фиг. 132.

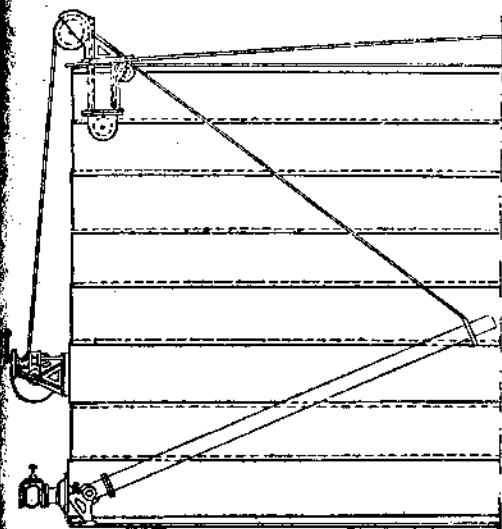
Лестницы эти значительно тяжелее (около 180 кг на 1 пог. м), много сложнее в изготовлении описанных выше наклонных лестниц, и применение их должно быть обосновано в каждом отдельном случае.

Арматура. а) Шарнирная труба. Для забора жидкости с ее поверхности применяется шарнирная вращающаяся труба.

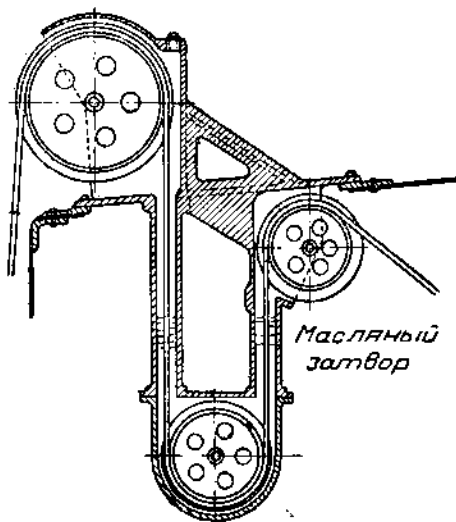
Труба связывается со стенкой через посредство углового шарнира, около которого она вращается. На фиг. 133 показана конструкция углового шарнира.

Подъемка трубы и ее опускание производится помощью троса и стеной лебедки.

Для того чтобы труба при опускании своим концом стала на дно, конец ее снабжается упоркой.



Фиг. 134



Фиг. 135

Общий вид устройства шарнирной трубы в резервуаре представлен на фиг. 134.

Из этого чертежа видно, что трос трубы проходит по шкивам, заключенным в кожухе. Кожух для шкивов должен быть газонепроницаемым.

В Америке изготовлением оборудования для резервуаров занимаются специальные заводы, которые изготовляют арматуру, удовлетворяющую всем необходимым требованиям.

На фиг. 135 показана конструкция кожуха для шкивов.

Газонепроницаемость кожуха достигается масляным затвором, находящимся в трубках кожуха.

Перед угловым шарниром с внешней стороны резервуара располагается обычно задвижка трубопровода.

б) и в) Предохранительные вентиляционные клапаны. Кроме перечисленных основных принадлежностей резервуары снабжаются еще специальной автоматически действующей аппаратурой, регулирующей как выпуск излишних газов, образовавшихся в резервуаре, так и выпуск воздуха при образовании вакуума в резервуаре.

Эти предохранительные клапаны обыкновенно комбинируются заводами,

изготавливающими резервуарную арматуру с пламегасителем, т. е. с оборудованием, имеющим противопожарное назначение.

На фиг. 136 дан тип такого безопасного предохранительного клапана системы ВЕСО.

Этот тип клапана с ртутным затвором применяется исключительно на стационарных резервуарах. Клапан работает при давлении в 140 мм вод. ст.

Как видно из чертежа, между клапаном и крышкой резервуара располагается пламегаситель, состоящий из целого ряда вертикальных трубочек. Разрез через секции трубочек помещен на чертеже.

Кроме указанного предохранительного приспособления, служащего для уменьшения давления или вакуума, имеющегося в резервуаре при нормальных условиях работы, резервуары снабжаются также предохранительными клапанами, начинающими работать в тех крайних случаях, когда давление или вакуум в резервуаре переходит за пределы нормальных. Эти клапаны также совмещаются с пламегасителем.

На фиг. 137 дан пример устройства подобного клапана той же системы ВЕСО.

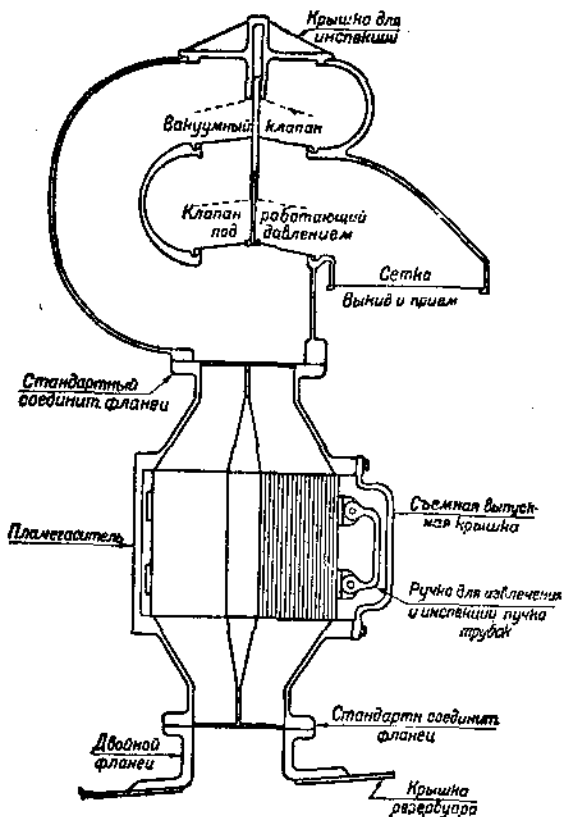
Клапаны эти снабжаются масляным затвором и могут быть изготовлены по заказу для любых давлений и вакуума.

В резервуарах для хранения бензина, керосина, сы-

рой нефти и других летучих и легко воспламеняющихся жидкостей иногда устанавливается аппаратура, дающая полное сбережение газов и гарантию от пожаров.

Как было уже указано выше, в случае образования давления в резервуаре излишние газы выпускаются в атмосферу; и наоборот, — при образовании вакуума в резервуаре воздух попадает в резервуар.

Так как кислород, заключающийся в атмосфере, попадая в резервуар, может образовать с летучими фракциями нефти взрывчатую смесь, то на американских нефтяных предриятных резервуары снабжаются специальной аппаратурой, состоящей из регулирующих клапанов, соединенных с трубопроводами, подающими в резервуар сухой естественный газ в случае образования вакуума в нем при откачке жидкости или сжатия нефтяных паров. Излишек же газов, образующихся в резервуарах при подаче

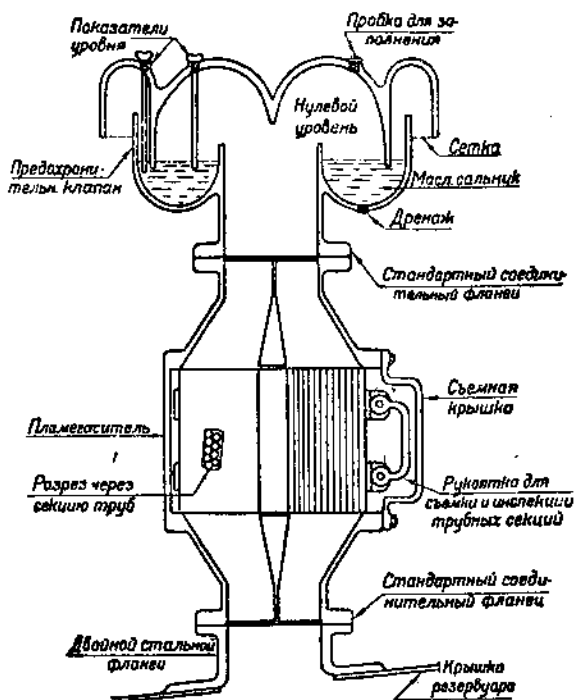


Фиг. 136

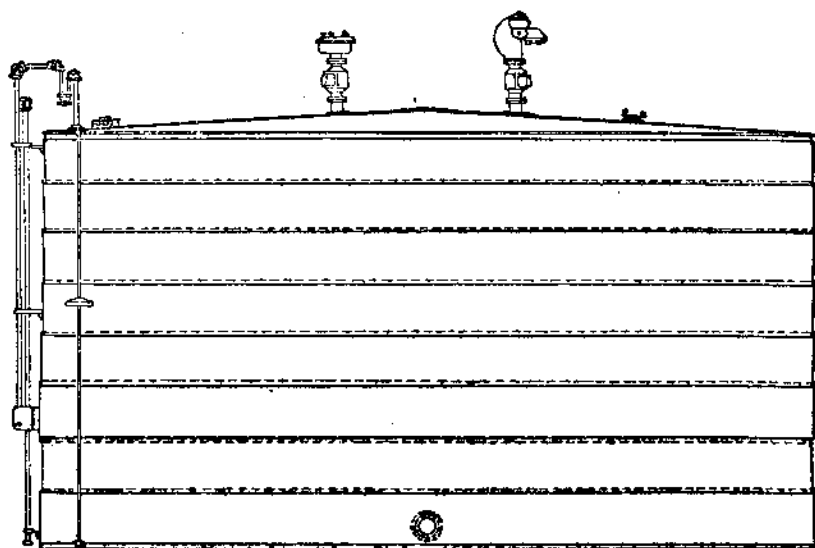
нефти или вследствие изменения температуры, также отводится не в атмосферу, а в особый трубопровод, идущий на газолиновый завод.

Нами приведены лишь основные принципы, на которых построена эта аппаратура. Интересующиеся этим вопросом могут найти подробные описания и схемы действия указанной аппаратуры в специальной литературе.

г) Автоматический указатель уровня жидкости состоит из: поплавка из красной меди диаметром 600 мм, весом около 20 кг и стальной ленты с делениями, на которой подвешен поплавок; масляного салника, через который проходит эта стальная лента; ящика, заключающего аппарат, указывающий уровень, и противовеса в 2,5 кг, подвешенного к другому концу стальной ленты, поддерживающего постоянное натяжение ее. Автоматический указатель жидкости газонепроницаем.



Фиг. 137



Фиг. 138

Практика установки у нас замерных лент с автоматическим указателем уровня показала малую применимость пользования этой аппаратурой; поэтому особой надобности в снабжении резервуаров этой аппаратурой нет и можно ограничиться замерным люком и лентой.

Кроме указанной резервуарной аппаратуры следует упомянуть еще о нагнетательном трубопроводе. Нагнетательная труба должна располагаться в нижних поясах резервуара, т. е. прикрепляться к более толстым листам во избежание могущего быть расстройства соединения трубы с резервуаром.

Диаметр нагнетательного трубопровода определяется обычно тем временем, которое дается железными дорогами на выкачку маршрута (например на откачку маршрута в 800 м отводится 4 часа). Указанные требования определяют диаметр нагнетательной трубы в 200 мм.

В заключение приводим схематический чертеж резервуара с показанием на нем современного оборудования (фиг. 138).

Для ясности представления арматура показана на чертеже в утрированном виде (не в масштабе).

§ 7. Спецификация вертикальных резервуаров

После изготовления всех рабочих чертежей составляется чертеж общего вида резервуара с нанесением в схематическом виде всех принадлежностей и арматуры. Общие виды резервуаров емкостью 630 и 4685 м³ представлены на фиг. 139 и 140.

По рабочим чертежам составляются так называемая спецификация (подсчет веса) и заказ на материалы.

Подсчет веса делается либо на чертежах, либо на особой ведомости по следующей форме.

Подсчет веса резервуара емкостью 4685 м³

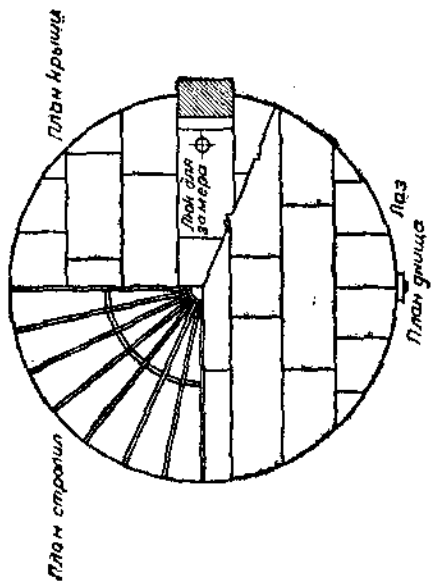
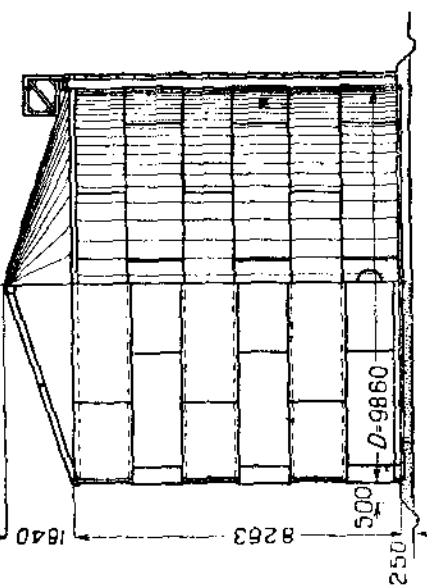
$D = 22\ 906\text{ мм}$ $H = 11\ 397\text{ мм}$

№ частей	Наименование частей	Размеры сечений в мм	Длина частей в м или площадь в м ²	Количество	Общая длина в м или площадь в м ²	Вес единицы	Общий вес
						в кг	
10	IV пояс, листы	5991-1495-8	8,957	12	107,48	63,80	6750
11	Накладки стыков, наружные	166-1472-6	0,244	12	2,928	47,10	138
19	Нижний кольцевой угольник	100-100-12	71,962	1	71,962	17,84	1284
20	Стыковые накладки к угольнику	100-100-12	0,540	12	6,480	17,81	116

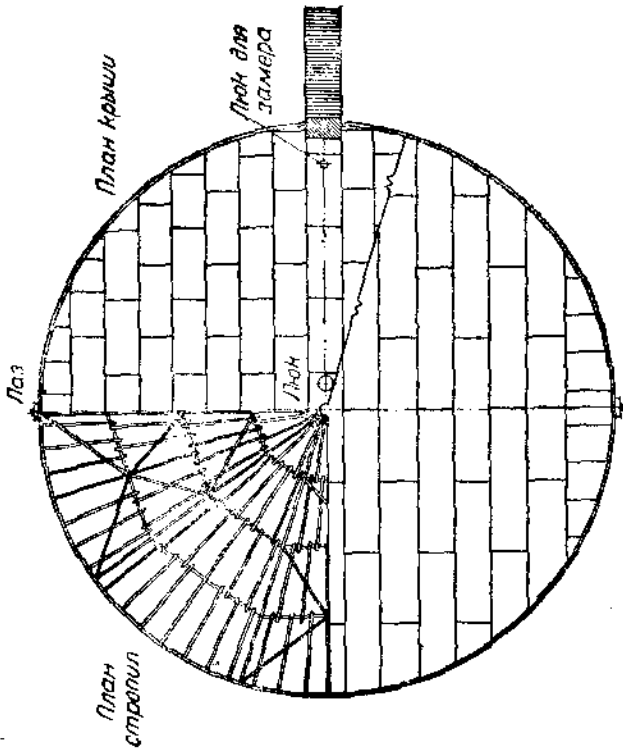
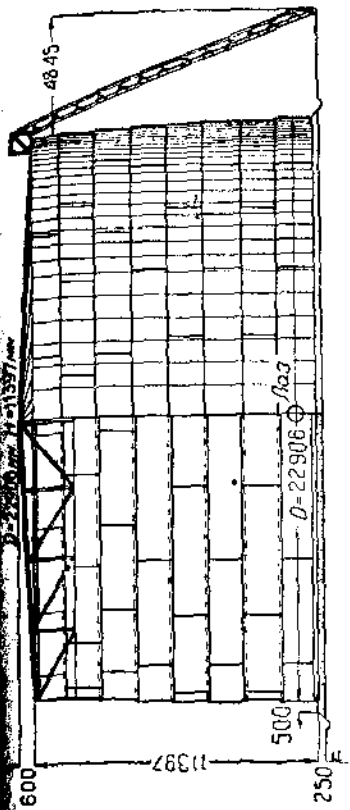
Каждая деталь должна быть снабжена отдельным номером, который проставляется как в первой графе спецификации, так и на чертежах рядом с размерами поперечного сечения соответствующей части.

Вес заклепочных головок учитывается либо путем подсчета действительного их веса (гл. III, § 2), либо условно принимается 3% от веса конструкций.

Резервуар № 8 емкостью 630 м³
D=9860 мм H=8263 мм



Фиг. 139



Фиг. 140

Подсчет веса заканчивается сводкой по следующей форме:
Общая сводка веса железных частей резервуара ем-
костью 4685 м³

I корпус	
1. Стенка	48 897 кг
2. Дно	21 909 »
3. Крыша	10 901 »
Итого	81 757 кг
II. Лазы	337 кг
III. Люки	103 »
IV. Стропила	10 428 »
V. Дестина	1014 »
Всего	93 636 кг

Заказ на материалы производится для определения действительного количества материалов (железа и заклепок и прочих материалов), необходимых для постройки резервуара с надбавкой на исчисление веса определенного процента на отходы и обрезки.

К количеству материала, определенному по исчислению веса, приято делать следующие прибавки:

Сортовое железо длиной до 100 м	2%
» » » от 100 до 1000 м	1,5%
» » » свыше 1000 м	1%

На листовое железо для косынок, накладок и прочих мелких деталей делается прибавка до 5%.

При составлении заказа на заклепки процент прибавки на угар и утерю делается в зависимости от диаметра заклепок (прил. 14).

Заказ на материалы представляется по следующей форме:

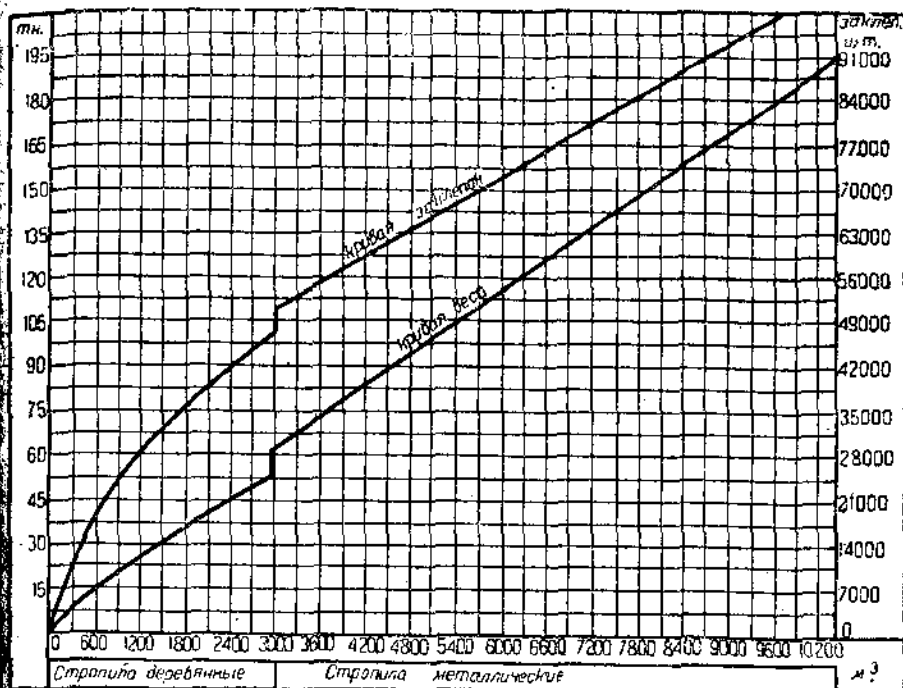
Заказ на материалы

для резервуара емкостью 4685 м³, $D=22\,906$ мм, $H=11\,397$ мм
(фиг. 121—127)

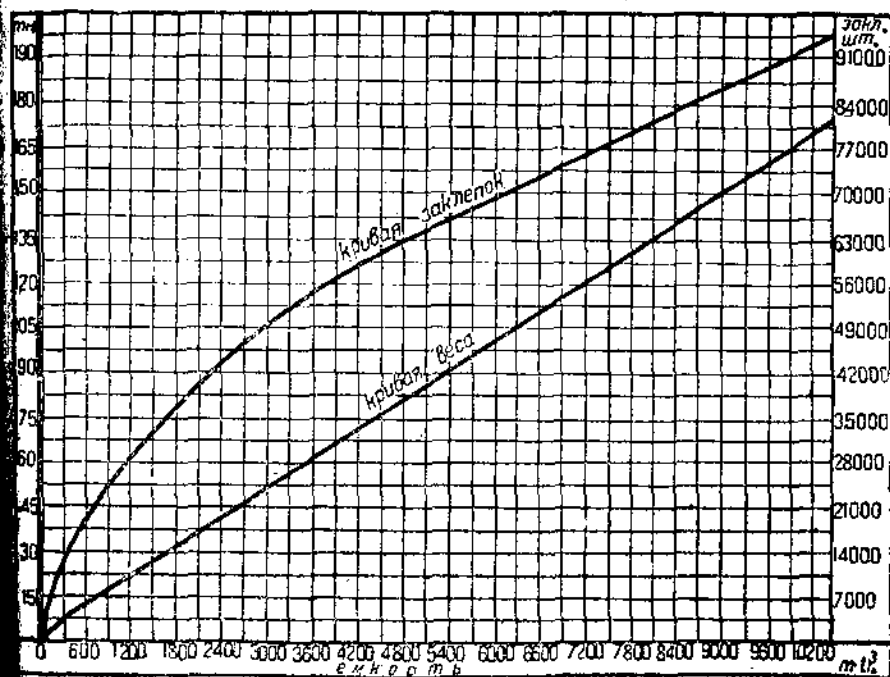
№ по спецификации	Наименование материалов	Размеры соединения в мм	Длина частей в мм	Штук	Общий вес в кг	Примечания

§ 8. Вес вертикальных резервуаров и основные технические показатели

В прилагаемых табл. I и II приведены основные данные для определения веса и конструкции вертикальных цилиндрических резервуаров емкостью от 11 до 10 560 м³.



Фиг. 141



Фиг. 142

Т а б
Вертикальные клеи

Емкость в м³ . . .	V	10 560	8 375	6 360	4 685	2 945	1 925					
Диаметр в мм . . .	D	34 358	30 541	26 723	22 906	21 000	17 102					
Высота в мм . . .	H	11 415	11 458	11 371	11 397	8 553	8 424					
Пояса корпуса ***	Толщ. лист.	Кол. лист.	Толщ. лист.	Кол. лист.	Толщ. лист.	Кол. лист.	Толщ. лист.	Кол. лист.	Толщ. лист.	Кол. лист.	Толщ. лист.	Кол. лист.
	δ	n	δ	n	δ	n	δ	n	δ	n	δ	n
I	16	18	14	16	12	14	11	12	8	11	7	9
II	14	18	12	16	11	14	9	12	7	11	6	9
III	12	18	10	16	9	14	8	12	6	11	5	13
IV	10	18	9	16	8	14	8	12	4	16	4	13
V	8	18	8	16	7	14	6	12	4	16	4	13
VI	7	18	6	16	5	21	5	18	4	16	4	13
VII	5	27	4	24	4	21	4	18	—	—	—	—
VIII	4	27	4	24	4	21	4	18	—	—	—	—
Дно	6(8)**	—	6(8)**	—	6(8)**	—	6	—	5	—	5	—
Настил крыши	3	—	3	—	3	—	3	—	2 $\frac{1}{2}$	—	2 $\frac{1}{2}$	—
Нижний угольник . . .	100-100-16	100-100-16	100-100-16	100-100-16	100-100-12	90-90-12	75-75-10	75-75-10	75-75-10	75-75-10	75-75-10	75-75-10
Верхний угольник . . .	75-75-10	75-75-10	75-75-10	75-75-10	75-75-10	75-75-10	65-65-8	65-65-8	65-65-8	65-65-8	65-65-8	65-65-8
Вес резерв. со стропилами и принадлеж. **** в кг	Снеговая нагрузка 120 кг/м² Снеговая нагрузка 90 кг/м² Снеговая нагрузка 60 кг/м²	204 984	161 470	125 491	93 633	51 765	36 336	—	—	—	—	—
		203 491	160 707	123 632	92 971	—	—	—	—	—	—	—
		202 135	159 219	122 785	92 554	—	—	—	—	—	—	—
Вес резервуара на 1 м³ емк. в кг/м³	Без учета веса стропил и принадлеж. С учетом веса стропил и принадлеж.	19,41	19,28	19,73	19,93	17,58	18,87	—	—	—	—	—
		16,9	16,70	17,08	17,45	16,89	18,04	—	—	—	—	—
Кол. заклепок на весь резервуар	107 600	87 640	75 000	60 700	50 000	37 800	—	—	—	—	—	—
Кол. заклепок на 1 т веса	525	543	598	648	968	1 040	—	—	—	—	—	—

* Верхний пояс из полулистов (листы разрезаны по длине).

** В скобках указаны толщины окрасок (сегментов) днища.

*** Под корпусом понимаются: стенки, дно и настил крыши.

**** Под принадлежностями понимаются: лестница, лавы и люк.

1 130	630	393	280	187	105	61	42	23	11
13 148	9 860	8 539	7 215	6 585	5 267	4 350	3 950	3 244	2 630
8 335	8 243	6 889	6 889	5 526	4 823	4 163	3 440	2 792	2 094

Примечание. Размеры стандартных листов приняты следующие:
1) 2,5—3 мм — 1400.2800; 2) 4—5 мм — 1400.4200;
3) 6 мм и выше — 1500.6000.

Таблица II

Бесс и количество заделок буртякальных цилиндрических резервуаров для нефтепродуктов

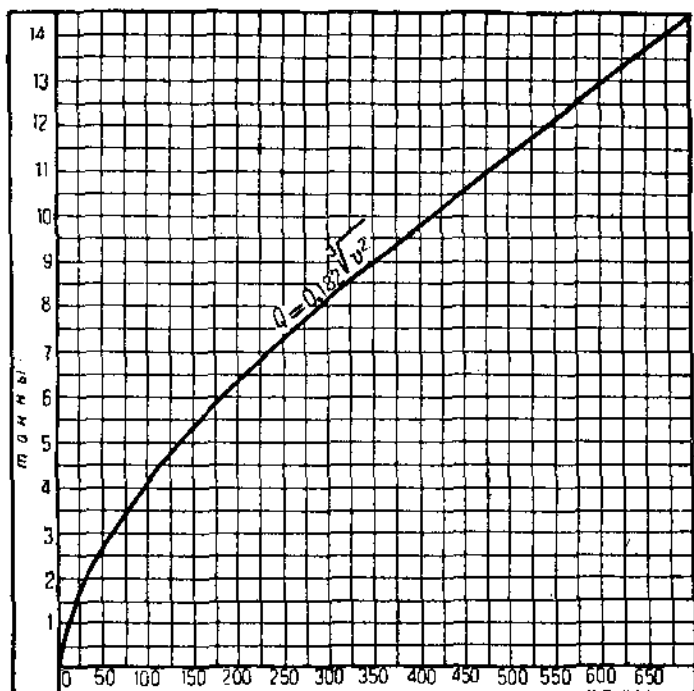
Высота в м	Диаметр D в мм	Высота H в мм	Корпус резервуара						Стропила		Принадлежности резервуара						Всего			
			Стенки		Дно	Крыша		Итого		Лаз	Лестница	Итого	Лаз	Лестница	Итого	Лаз	Лестница			
			Вес металла в кг	Кол. закл.		Вес металла в кг	Кол. закл.	Вес металла в кг	Кол. закл.									Вес металла в кг	Кол. закл.	Вес металла в кг
10 560	34 358	11 415	103 784	24 614	50 688	23 020	23 955	44 349	178 427	101 983	25 067	5 034	376 180	103 150	1 011	282	1 490	612	204 984	107 600
8 375	30 541	11 458	81 154	33 080	39 766	18 432	18 995	30 915	139 915	82 427	20 059	4 602	352 180	133 150	1 011	282	1 496	612	161 470	87 600
6 360	26 723	11 371	62 959	29 277	30 977	14 622	14 677	27 571	108 613	71 480	15 430	2 920	337 180	103 150	1 011	282	1 451	612	125 404	75 000
4 685	22 936	11 397	48 897	25 757	21 959	10 080	10 901	20 652	81 757	56 490	10 428	3 600	337 180	103 150	1 011	282	1 451	612	93 636	60 700
2 945	21 000	8 353	26 206	19 192	15 432	10 908	8 105	18 850	49 743	48 980	1 546	792	139 90	30 60	307	122	476	272	51 765	50 000
1 925	17 102	8 424	19 017	16 142	10 226	7 592	5 478	13 191	34 721	36 925	1 140	648	138 90	30 60	305	122	475	272	36 336	37 800
1 130	13 148	8 335	12 809	12 451	6 135	4 796	3 276	7 914	22 220	25 161	261	180	113 90	30 60	301	122	444	272	22 925	25 600
630	9 860	8 263	8 406	0 386	2 815	3 387	1 946	4 764	13 247	18 537	148	144	113 90	30 60	279	122	422	272	13 817	19 000
338	8 533	6 889	6 062	7 630	2 103	2 601	1 401	3 684	9 566	13 925	150	132	113 90	30 60	287	122	430	272	10 146	14 300
280	7 215	6 889	5 126	6 480	1 551	1 990	1 013	2 951	7 690	11 421	98	101	113 90	30 60	252	122	395	272	8 183	11 800
187	6 585	5 526	3 739	4 660	1 321	1 880	864	2 473	5 924	9 016	87	100	113 90	30 60	236	122	379	272	6 390	9 400
106	5 267	4 528	2 622	3 628	878	1 300	568	1 642	4 068	6 570	79	88	113 90	30 60	97	10	240	160	4 337	6 800
61	4 350	4 163	1 863	2 516	621	878	407	1 562	2 891	5 018	64	76	113 90	30 60	86	10	229	160	3 184	5 300
42	3 950	3 440	1 400	2 103	485	828	344	1 160	2 229	4 091	58	76	113 90	30 60	75	10	218	160	2 505	4 300
23	3 244	2 792	929	1 380	330	522	240	964	1 499	2 865	58	76	113 90	30 60	64	10	207	160	1 764	3 100
11	2 630	2 094	565	988	232	414	172	701	959	2 103	58	76	113 90	30 60	54	10	197	160	1 224	2 300

Примечания: 1. Суммарное количество заделок округлено до 100.

В табл. I даны веса резервуаров, количество заклепок и размеры сечений отдельных элементов.

В табл. II показаны веса резервуаров и количество заклепок как по отдельным элементам, так и по резервуарам в целом.

Резервуары емкостью 11—2945 м³ — с деревянными стропилами (по типу фиг. 112, 113). Резервуары емкостью 4685—10 560 м³ — с металлическими стропилами (по типу фиг. 102—104). Все резервуары — с герметическими крышами; материал резервуаров — Ст2_{полн}, Ст3_{полн}.



Фиг. 143

В прилагаемых графиках № 1, 2, 3 данные о весе и количестве заклепок в резервуарах представлены графически.

На графике № 1 (фиг. 141) изображены кривые веса и количества заклепок в зависимости от емкости для комплектиных резервуаров (с учетом стропил, лестниц, лазов и люков). Разрыв непрерывности (скачок) происходит на границе применения деревянных и железных стропил (емкость 3000 м³).

На графиках № 2, 3 (фиг. 142, 143) показаны кривые веса и количества заклепок в зависимости от емкости только для корпусов, стенок, дни и настила крыши (без учета стропил, лестниц, люков и лазов).

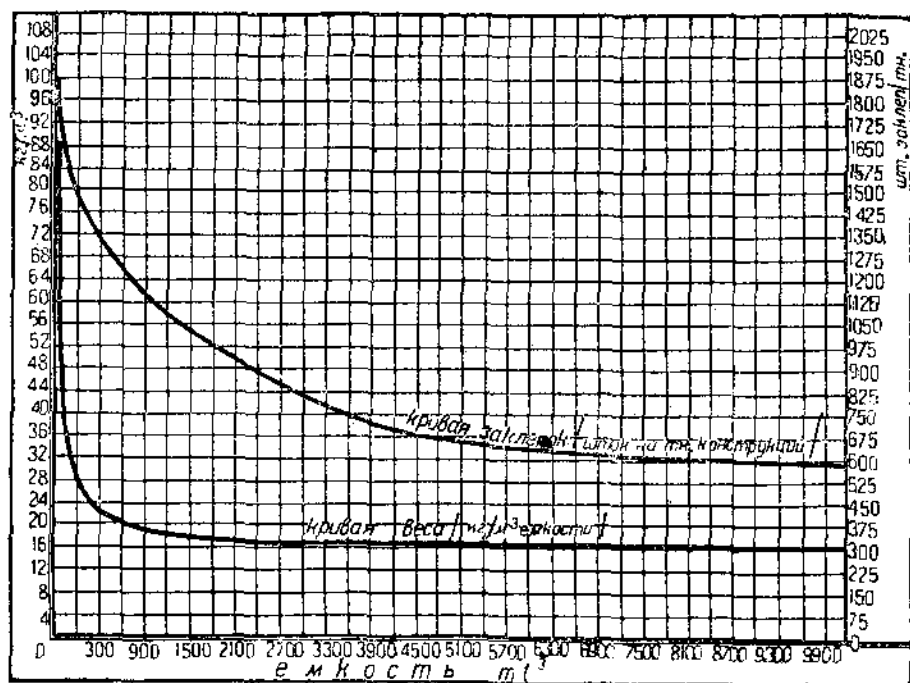
Чрезвычайный интерес представляют кривые веса на графиках № 2 и 3: для резервуаров емкостью до 630 м³ эта кривая изменяется по закону:

$$Q = 0,182 \sqrt[3]{V^2};$$

для резервуаров емкостью свыше 630 м^3 закон изменения веса выражается прямой с уравнением:

$$Q = 0,0165 V + 3,5.$$

В обоих последних уравнениях Q обозначает вес резервуара в t , V — объем в м^3 .



Фиг. 144

Структура последних двух формул абсолютно совпадает с структурой формул В. Г. Шухова для определения минимального объема железа, потребного для постройки резервуара (уравнения (6), (2), глава IV, § 2). Если же подставить в формулы Шухова соответствующие численные значения буквенных обозначений с учетом удельного веса железа $7,85 \text{ т/м}^3$, то почти с абсолютной точностью получим две последних формулы.

В графике № 4 (фиг. 144) показаны изменения веса корпуса резервуара на 1 м^3 емкости и количества заклепок на 1 т веса конструкции (табл. 1). Из графика видно, что примерно до емкости 2000 м^3 вес корпусов составляет около 17 кг/м^3 емкости резервуара; в дальнейшем эта величина быстро растет и при емкости около 600 м^3 вес составляет 22 кг/м^3 , а при малых емкостях цифра эта превышает 50 кг/м^3 , доходя до 90 кг/м^3 .

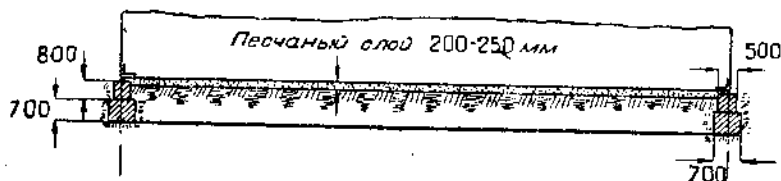
Количество же заклепок на 1 т веса конструкции увеличивается еще резче с уменьшением объема резервуара.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о том, что резервуар тем выгоднее, чем больше его объем (как в отношении использования материала, так и в смысле уменьшения трудоемкости работ). Это опять-таки

подтверждает вывод, сделанный при рассмотрении формул В. Г. Шухова (глава IV, § 2), что один резервуар емкостью V дешевле группы мелких резервуаров, имеющих в сумме ту же емкость.

§ 9. Сборка и установка клепаных вертикальных резервуаров

Возведение резервуара начинается с устройства основания под него, состоящего обычно из хорошо утрамбованного песчаного слоя высотой 200—250 мм, располагаемого на предварительно подготовленной и выравненной площадке грунта. Песчаное основание делается слегка конической формы с небольшим подъемом в центре—100—150 мм. Иногда (при сла-



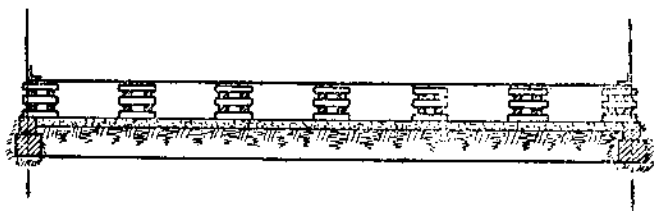
Фиг. 145

рых грунтах) песчаное основание окружается легким кольцом из бетона (фиг. 145).

Сборка самого резервуара начинается с днища, которое собирается в клетках из деревянных брусков высотой около 1 м (фиг. 146).

На указанных клетках собирается днище резервуара и (нижний) пояс

его. Днище с поясом находится на клетках вплоть до полного окончания его, т. е. клепки и сканки швов, после чего оно испытывается и по убеждению в его исправности (отсут-



Фиг. 146

ствию течи) осматривается и опускается на основание последовательным разбором клеток, начиная от центра.

Дальнейшее опускание днища, остающегося на клетках, находящихся под опорным кольцом, производится домкратами с постепенным выбрасыванием верхних рядов брусков клеток.

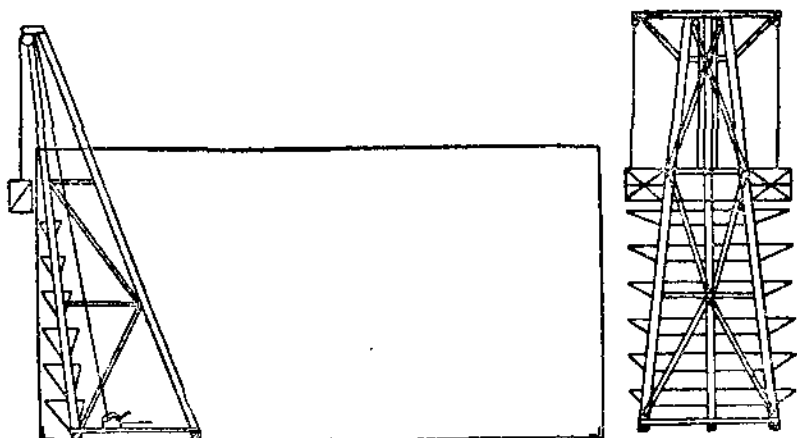
По окончании сборки днища и нижнего пояса начинается сборка выше-лежащих поясов резервуара. Для этой цели пользуются деревянным копром, устанавливаемым внутри резервуара на днище его и перемещаемым по мере сборки поясов по окружности резервуара (фиг. 147).

Копер снабжен подъемными лебедками и имеет блоки для подъема листов и люльки, располагающейся снаружи резервуара. Для доступа к местам соединения листов с внутренней стороны резервуара на копре устраиваются небольшие площадки, укрепленные на консолях в стойках копра.

Поднятый лист прикрепляется сборочными болтами с люльки и с площадки копра к ранее уже поставленным листам; затем укрепленный лист

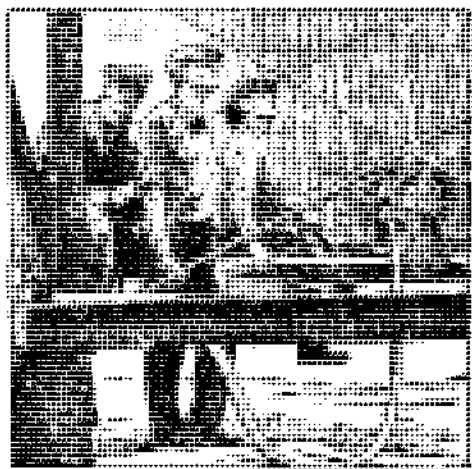
раскалывается вверху, и копер с люлькой перемещается по окружности на величину длины последующего элемента сборки.

Таким же порядком производится последовательная установка и сборка всех остальных листов поясов резервуара.



Фиг. 147

На приводимой ниже фотографии (фиг. 148) показана конструкция разборного металлического передвижного копра, снабженного механической (пневматической) лебедкой. С помощью этого копра может быть произведена вся сборка резервуара.



Фиг. 148а.

Фотография изображает момент подъема колонн крыши резервуара.

Для производства кленки и чеканки швов служат навесные люльки, катающиеся по верхней кромке листов (фиг. 149).

В небольших резервуарах при дешевом лесном материале кленку и чеканку швов стенок часто производят со специальных лесов — глаголей, располагаемых по окружности резервуара с наружной и внутренней сторон его. Число глаголей обычно равно числу листов в поясе (фиг. 150).

Глаголи для устойчивости рас-

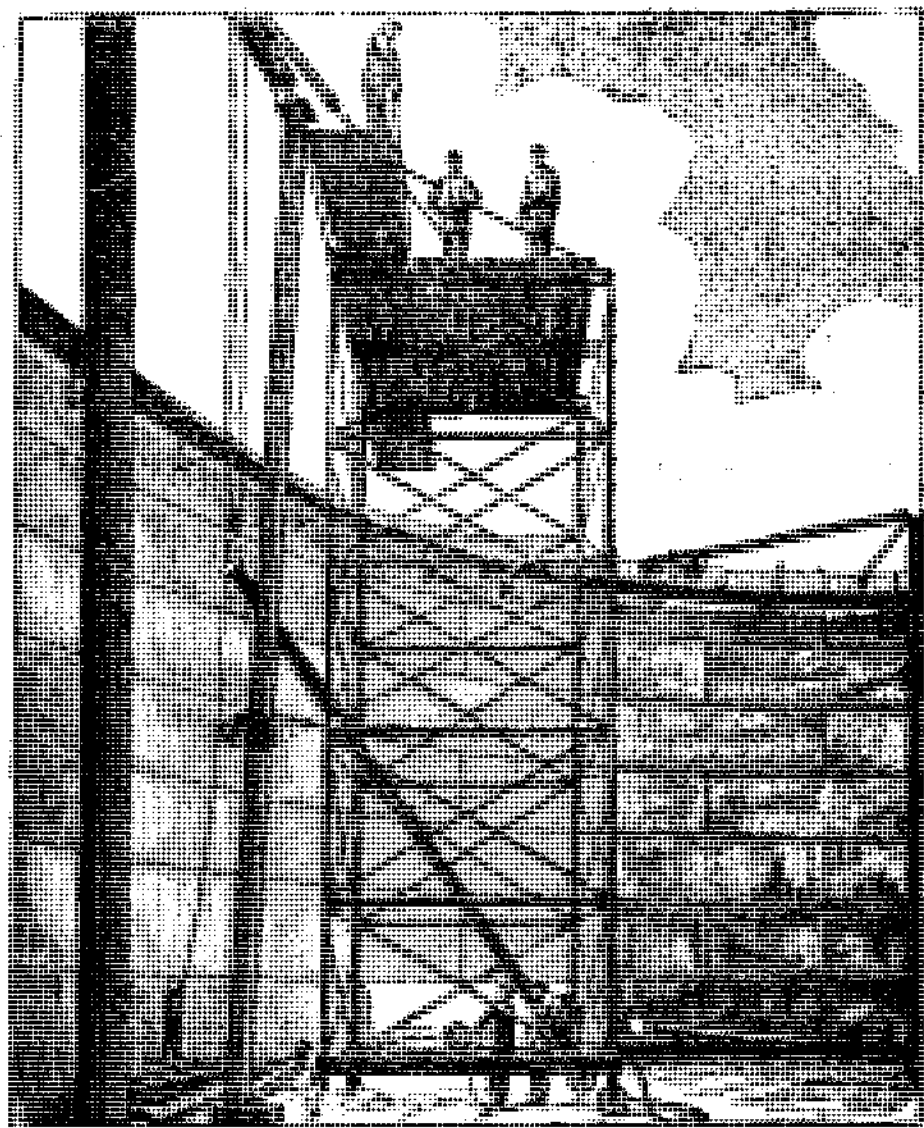
шты между собой досками и, кро-

ме того, связаны площадками, устраиваемыми на консолях глаголей.

Этот способ сборки требует большого расхода лесного материала и не может считаться рентабельным.

Установка стропильных ферм крыши резервуара производится помощью того же копра или отдельной подъемной стрелы, располагаемой внутри резервуара. Одним концом поднятая полуферма прикрепляется болтами к корпусу резервуара, а другим к центральной стойке стропил, уста-

навигаемой на самостоятельной деревянной опоре, располагаемой в центре резервуара. Центральной стойке стропила должна быть придана соответствующими расчалками надлежащая устойчивость.

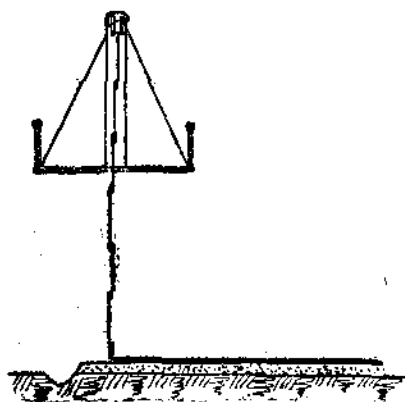


Фиг. 1486

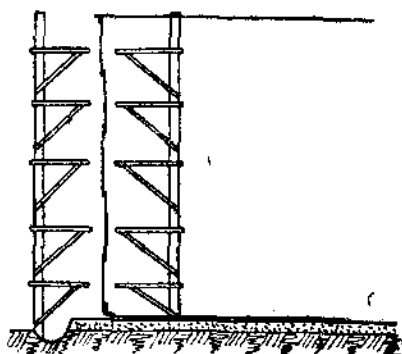
Одновременно с установкой стропильных ферм укладываются и все промежуточные поперечные металлические балки со всеми связями и деревянные радиальные балки.

По окончании перекрытия приступают к сборке самой оболочки крыши; для затаскивания листов на крышу резервуара устраивается наклонный помост (фиг. 151).

Поднятые листы крыши раскладываются на перекрытии и собираются на болтах. Клепка листов крыши может быть произведена или со специальных помостов, располагаемых внутри резервуара и перемещаемых по мере производства кленки ее, или с плотов. В этом последнем случае



Фиг. 149



Фиг. 150

резервуар наполняется водой до необходимой высоты и на поверхности последней устраиваются плоты. При кленке с плотов фронт работ по кленке может быть развернут по всей поверхности крыши.

В небольших резервуарах может быть применен и другой способ сборки, заключающийся в следующем: по окончании установки на основание

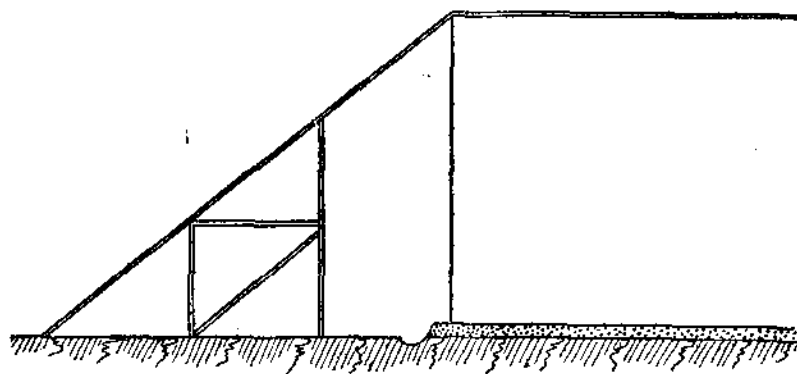


Рис. 151

днища приступают к сборке крыши на готовом днище; законченная крыша поднимается талыми, располагаемыми на стойках вокруг резервуара с внешней стороны его на высоту пояса. Под крышу подводится самый верхний пояс резервуара; законченный пояс вместе с крышей снова поднимается на высоту следующего по порядку пояса. Таким образом собираются последовательно все пояса, поднимая постепенно крышу с законченными поясами.

В больших резервуарах этот способ требует тяжелых подъемных приспособлений и поэтому применение его следует считать рациональным только в небольших резервуарах.

§ 10. Испытание вертикальных резервуаров

Испытание резервуаров распадается на следующие три части:

1) испытание днища, 2) испытание корпуса резервуара, 3) испытание герметической крышки.

1. Испытание днища производится наливом воды, когда оно с первым поясом находится еще на клеках.

После подчеканки мест обнаруженной течи и исправления всех выявившихся дефектов днище предъявляется к приемке, затем осматривается и опускается на основание. В случае низкой температуры и невозможности производить испытание водой может быть применен керосин.

2. Стенки резервуара испытываются наливом воды или нефтяных продуктов в резервуаре до уровня верхнего угольника.

После исправления всех обнаруженных дефектов и течи резервуар предъявляется к приемке.

3. Испытание крышки производится накачиванием воздуха в пространство между уровнем воды, налитой в резервуар, и настилом крышки до давления не менее 12 мм вод. ст. При этом все швы крышки промазываются снаружи мыльной водой. Все места течи обнаруживаются по пузырькам, образующимся в местах неплотностей; обнаруженные таким образом неплотности в крышке исправляются, и крыша предъявляется к приемке.

Горизонтальные резервуары

Горизонтальные резервуары, представляющие собой лежащие сосуны цилиндрической формы, делятся на стационарные, т. е. раз навсегда установленные и перемещаемые, и передвижные в виде цистерн, служащие для транспортировки различных жидкостей.

§ 11. Стационарные резервуары

Горизонтальные лежащие стационарные резервуары конструируются или с плоскими днищами, или днищам придается форма сферической поверхности.

Горизонтальные резервуары с плоскими днищами по конструкции сложнее вертикальных аналогичного объема, так как стенки их приходится укреплять различными дополнительными элементами в виде колец жесткости, тяг и пр., которые, естественно, должны были бы отпасть и стать совсем ненужными при условии пользования резервуаром в перевернутом виде, т. е. в стоячем положении; следовательно, эти резервуары получаются тяжелее вертикальных резервуаров той же емкости.

Горизонтальные резервуары неудобны также в эксплуатации. Они требуют больше места сравнительно с вертикальными. Более сложного устройства основания и неудобны в смысле замера хранящихся в них продуктов. Применение и довольно широкое распространение их для небольших емкостей объясняются, главным образом, чрезвычайным удобством изготовления всего резервуара целиком на заводе. Поэтому иногда выгоднее заменить большую емкость вертикального резервуара двумя-тремя горизонтальными резервуарами меньшей емкости. Горизонтальные резервуары, целиком изготавливаемые на заводе, само собой разумеется, должны иметь размеры в пределах железнодорожного габарита. Упомянутые недостатки горизонтальных резервуаров относятся к стационарному

типу и, понятно, в том случае, когда горизонтальные резервуары конструируются специально для целей транспортировки продуктов, форма держачего цилиндра является вполне целесообразной и отвечающей своему назначению.

Горизонтальные резервуары с плоскими днищами

Самым большим горизонтальным резервуаром, удовлетворяющим по размерам железнодорожным габаритам, является резервуар емкостью 50—55 м³ ($d = 2,8—3$ м).

Толщина стенок цилиндрической части таких резервуаров практически принимается 4—5 мм; толщина же железа плоских днищ 6 мм. Все швы корпуса резервуара относятся к разряду плотных швов и делаются внахлестку.

Продольные швы по образующей цилиндра двойные. Диаметр заклепок $d = 11,5$ мм; шаг заклепок $t = 45—50$ мм.

Кольцевые швы одинарные, диаметр заклепок 11,5 мм, шаг заклепок около 36—39 мм.

Точные расстояния между заклепками определяются при их разбивке при составлении шаблонов листов в зависимости от принятых размеров листов, почему выше и указаны пределы шагов, которых следует держаться при разбивке.

Для придания достаточной жесткости корпусу горизонтального резервуара при указанной толщине стенок его, в поперечном сечении резервуара, в каждом поясе корпуса располагаются уголки жесткости сечением $75 \times 75 \times 8$ мм при диаметре корпуса около 3 м.

При меньшем диаметре резервуара кольца жесткости делаются соответственно меньшего сечения — $65 \times 65 \times 6$. Так как ширина листов железа составляет 1400—1500 мм, то, следовательно, уголки жесткости отстоят друг от друга на таком же расстоянии и число их в резервуаре определяется числом листов, располагающихся на длине корпуса резервуара. Кольца жесткости приклепываются к корпусу заклепками $d = 11,5$ мм через 150—200 мм.

В случае устройства горизонтальных резервуаров без всяких креплений стенок толщина их при диаметрах свыше 1,2 м берется большей — 4—5 мм.

Для предотвращения выпучивания плоского дна под давлением налитой в резервуар жидкости оба доньшка резервуара стягиваются между собой по центрам их тягой из круглого железа, снабженной в середине резервуара правой и левой резьбой с соответствующей стяжной муфтой. Во избежание провисания тяга подвешивается к верху корпуса круглым железом $d = 6$ мм. Кроме того, доньшко обычно укрепляется, главным образом, в нижней его части уголками жесткости сечением $50 \times 50 \times 6$ мм, приклепанными заклепками $d = 11,5$ мм через 120 мм.

Равным образом кольцевые угольники жесткости по поясам также снабжаются на высоте $\frac{1}{3}$ диаметра от низа полосовыми тягами сечением 50×6 , оклепанными с кольцевым угольником через косышку на две заклепки. Кроме того, в резервуарах большого диаметра, свыше 2 м, полезно ставить в плоскостях одного или двух из этих колец жесткости распорки из угольников того же сечения, как и кольца жесткости, располагая их по сторонам равнобедренного треугольника. Такое устройство резервуара

Таблица горизонтальных ре...

Емкость резервуара в м ³	10	15	20
Диаметр резервуара в м	2,07	2,07	2,07
Длина резервуара в м	2,99	4,45	5,91
Толщина железа в мм	4	4	4
Диаметр отверстий для заклепок	10	10	10
Тип шва { продольный шов внахлестку	Двойной	Двойной	Двойной
{ кольцевой шов внахлестку	Однварный	Однварный	Однварный
Шаг заклепок { продольный шов в мм	42	42	42
{ кольцевой шов	30	30	30
Перекрышка { продольный шов шва в мм	57	57	57
{ кольцевой шов	32	32	32
Сечение угольников жесткости	65 × 65 × 6	65 × 65 × 6	65 × 65 × 6
Диаметр заклепочных отверстий в мм	10	10	10
Шаг заклепок в мм	150	150	150
Сечение затяжки по угольнику жесткости	50 × 6	50 × 6	50 × 6
Размеры листов корпуса	4500 × 1500	4500 × 1500	4500 × 1500
Число листов по окружности корпуса	1 1/2	1 1/2	1 1/2
Число листов по длине корпуса	2	3	4
Диаметр заклепочных отверстий в мм	12	12	12
Толщина железа в мм	5	5	5
Тип шва внахлестку	Однварный	Однварный	Однварный
Шаг заклепок в мм	37	37	37
Перекрышка шва в мм	38	38	38
Сечение днищевых угольников	65 × 65 × 6	65 × 65 × 6	65 × 65 × 6
Диаметр заклепочных отверстий в мм	12	12	12
Шаг заклепок	37	37	37
Центральная { диаметр тяги	20	20	20
{ диаметр резьбы	32	32	32
Вес резервуара в кг	1200	1600	2000
Вес на 1 м ³ емкости	120	107	100

25	32	36	41	46	55
2,07	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
7,37	5,18	5,93	6,64	7,39	8,85
4	5	5	5	5	5
10	12	12	12	12	12
Двойной	Двойной	Двойной	Двойной	Двойной	Двойной
Одинарный	Одинарный	Одинарный	Одинарный	Одинарный	Одинарный
42	48	48	48	48	48
30	37	37	37	37	37
57	67	67	67	67	67
32	38	38	38	38	38
65 × 65 × 6	75 × 75 × 8	75 × 75 × 8	75 × 75 × 8	75 × 75 × 8	75 × 75 × 8
10	12	12	12	12	12
150	200	200	200	200	200
50 × 6	50 × 6	50 × 6	50 × 6	50 × 6	50 × 6
4500 × 1500	4500 × 1500	4500 × 1500	4500 × 1500	4500 × 1500	4500 × 1500
11 1/2	2	2	2	2	2
5	3 1/2	4	4 1/2	5	6
12	12	12	12	12	12
5	6	6	6	6	6
Одинарный	Одинарный	Одинарный	Одинарный	Одинарный	Одинарный
37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38
65 × 65 × 6	75 × 75 × 8	75 × 75 × 8	75 × 75 × 8	75 × 75 × 8	75 × 75 × 8
12	12	12	12	12	12
37	37	37	37	37	37
20	25	25	25	25	25
32	35	35	35	35	35
2400	3300	3600	4100	4300	5000
96	103	100	100	94	91

вполне обеспечивает ему надлежащую жесткость при наливке жидкостью и предохраняет от деформаций.

Чеканку швов горизонтальных резервуаров обычно достаточно производить только сваружа.

На фиг. 152 приведена конструкция резервуара с плоскими днищами емкостью 55 м³.

Ниже приводится таблица, показывающая основные размеры, толщину металла и профили сечений целой серии типовых горизонтальных резервуаров с плоскими днищами, начиная с емкости резервуара в 10 м³ и кончая резервуаром емкостью 55 м³.

Все указанные в приводимой таблице резервуары сконструированы из листов максимальных размеров 4500 × 1500 с целью получения наибольшего объема. При выборе других размеров листов (например 4200 × 1400) и при сохранении их количества получатся резервуары меньших размеров, но принцип конструирования должен оставаться всегда один и тот же, а именно: резервуар должен быть так сконструирован, чтобы листы были использованы полностью и не оставалось бы обрезков от листов, что всегда ведет к излишним затратам железа и прямой потере его.

В таблице приведены веса отдельных резервуаров и веса на 1 м³ емкости, дающие представление, как убывает вес на 1 м³ емкости по мере возрастания объема.

На фиг. 153 и 154 показаны детали соединения центральной тяги с днищем резервуара, а также деталь подвески тяги.

Центральная тяга, как было указано ранее, имеет посередине стяжную муфту с правой и левой резьбой для приведения тяги в работоспособное состояние. Наиболее употребительный диаметр круглого железа для тяг — 20—25 мм. На фиг. 155 и 156 показаны разновидности стяжных муфт — клепаных и ковачных — для диаметра тяги в 20—25 мм.

От давления жидкости на стенки резервуара напряжению подвергаются только швы по образующей цилиндра.

Кольцевые же швы не напрягаются и на них передается только часть давления на днище (см. ниже).

Расчет стенок горизонтального цилиндрического резервуара представляет собой довольно сложную задачу, на разрешении которой мы здесь не останавливаемся, ввиду того что при габаритных диаметрах (около 3 м) практически применяемая толщина стенок (4—5 мм) вполне гарантирует прочность резервуаров описанной конструкции.

Общее давление на днище резервуара определяется формулой:

$$Q = \pi r^2 \gamma,$$

где r — радиус окружности поперечного сечения резервуара,

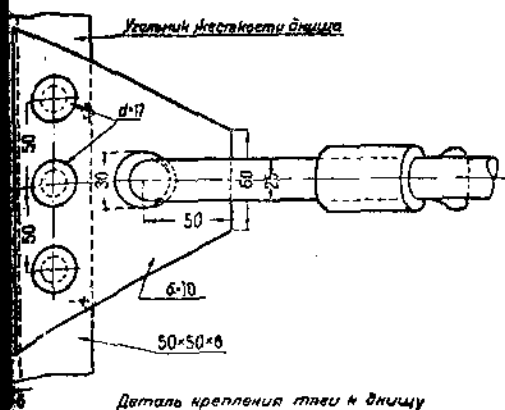
γ — вес единицы объема жидкости, налитой в резервуар.

В самом деле, пусть $abcd$ представляет собой поперечное сечение резервуара, а заштрихованный треугольник — закон распределения давления жидкости на днище (фиг. 157).

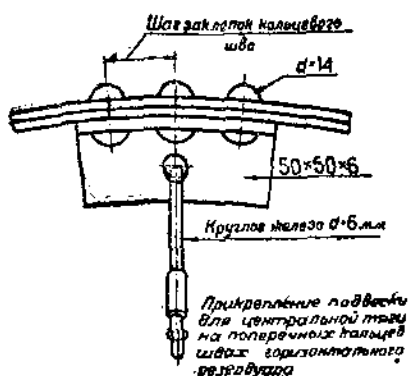
Давление на верхнюю элементарную заштрихованную площадку ω по закону гидростатики будет $\omega(r - x)\gamma$; на симметричную ей нижнюю площадку — $\omega(r + x)\gamma$.

Сумма давлений будет:

$$\gamma \omega (r-x) + \gamma \omega (r+x) = 2 \omega r \gamma,$$



Фиг. 153

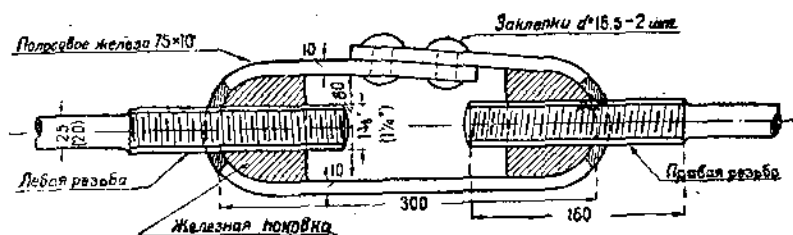


Фиг. 154

все давление, распространенное на всю площадь дна:

$$2 \Sigma \omega \cdot r \cdot \gamma = \pi \cdot r^2 \gamma,$$

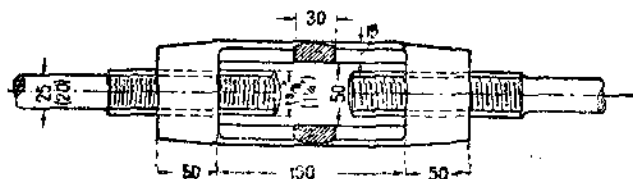
или как $2 \Sigma \omega = \pi r^2$.



Фиг. 155

Растягивающее усилие в центральной тали резервуара определяется по формуле:

$$T = \frac{\pi \cdot r^3}{3} \cdot \gamma.$$



Фиг. 156

В самом деле, пусть $ABKL$ представляет собой днище горизонтального резервуара (фиг. 158).

Давление жидкости на элементарную площадку obc :

$$P_1 = \gamma \int_0^r \frac{a(r-x)}{r} \cdot x \, dx = \frac{a \cdot r^2}{6} \gamma.$$

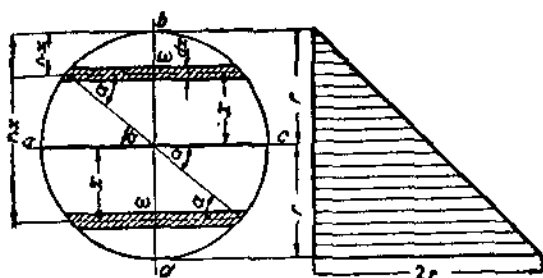
Давление на опору O от obc , или усилие, растягивающее тягу:

$$T_1 = \frac{M}{r} = \gamma \int_0^r \frac{a(r-x)}{r^2} x^2 \, dx = \frac{a \cdot r^2}{12} \gamma,$$

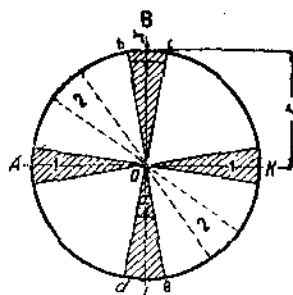
где M — момент относительно края окружности.

Давление на элементарную площадку ode :

$$P_2 = \gamma \int_0^r \frac{a \cdot x}{r} (r+x) \, dx = \frac{5}{6} ar^2 \gamma.$$



Фиг. 157



Фиг. 158

Давление на опору O от ode , или усилие, растягивающее центральную тягу

$$T_2 = \gamma \int_0^r \frac{ax(r^2-x^2)}{r^2} \, dx = \frac{ar^2}{4} \gamma.$$

Сумма

$$P = P_1 + P_2 = \frac{ar^2}{6} \gamma + \frac{5}{6} ar^2 \gamma = ar^2 \gamma.$$

Сумма

$$T = T_1 + T_2 = \frac{ar^2}{12} \gamma + \frac{ar^2}{4} \gamma = \frac{1}{3} ar^2 \gamma.$$

В случае горизонтального расположения элементов obc и ode (1,1) сумма давлений на них будет:

$$P = 2 \cdot \frac{ar^2}{2} \gamma = ar^2 \gamma$$

и

$$T = \frac{1}{3} ar^2 \gamma.$$

При перемещении элементов из горизонтального положения в вертикальное, разобранные выше, давление на элемент obc уменьшается на

$$\frac{ar^2}{2} \gamma - \frac{ar^2}{6} \gamma = \frac{ar^2}{3} \gamma,$$

А давление на элемент *ode* увеличивается на

$$\frac{5}{6} ar^2 \gamma - \frac{1}{2} ar^2 \gamma = \frac{ar^2}{3} \gamma,$$

т. е. на ту же величину.

Следовательно, при перемещении элементов *obc* и *ode* из горизонтального положения их 1,1 в любое положение 2,2 давление на верхний элемент уменьшается на столько же, на сколько оно увеличивается на нижний элемент, оставаясь в сумме постоянной величиной $ar^2 \gamma$ и передавая от них усилие на центральную тягу, равное $\frac{ar^2}{3} \gamma$. Рассматривая всю площадь дна в целом, подобным же рассуждением получим передающееся от него усилие на центральную тягу равным:

$$T = \frac{\pi r^2}{3} \gamma,$$

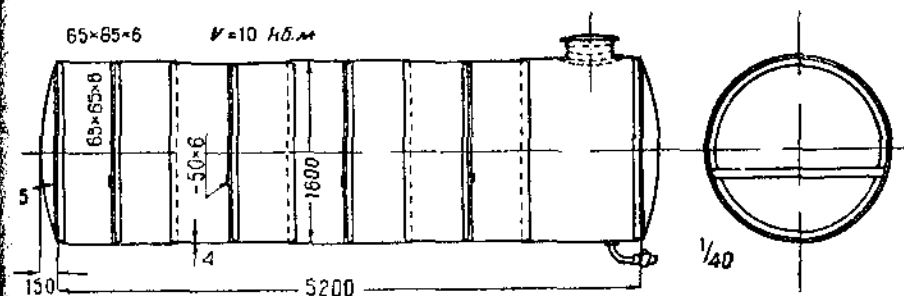
так как при этом:

$$a = \pi \cdot r.$$

Таким образом из общего давления ($\pi r^2 \gamma$) на дна $\frac{1}{3}$ его, т. е. $\frac{\pi r^2}{3} \gamma$, передается на центральную тягу, и $\frac{2}{3}$, т. е. $\frac{2}{3} \pi r^2 \gamma$, воспринимаются стенками цилиндра (по его поперечному сечению).

Горизонтальные резервуары с сферическими днищами

Плоское дно иногда заменяется сферическим, причем для небольших диаметров применяются штампованные днища. Пример такого резервуара



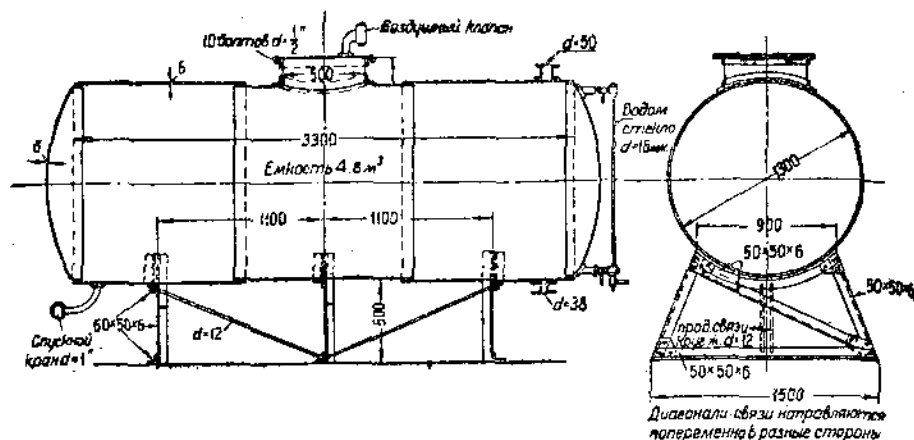
Фиг. 159

с сферическими днищами приведен на фиг. 159. Расчет сферического дна производится на давление жидкости на него (гл. V).

Опоры

Наиболее простой тип опор для горизонтальных резервуаров представляют собой опоры из деревянных брусков, которые связываются между собой скобами и вырезаются по дуге круга (радиус его равен радиусу

резервуара) с таким расчетом, чтобы угол обхвата резервуара брусками был не менее 70° . Опорные брусья располагаются через 700—800 мм и укладываются на ряд продольных брусков, идущих вдоль резервуара.



Фиг. 160

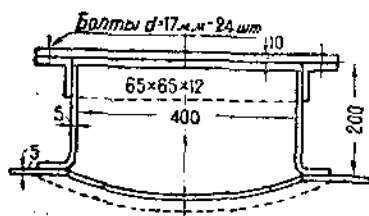
На фиг. 152 были показаны размеры деревянных брусков и типовая конструкция таких опор. Вместо деревянных опор иногда устраиваются металлические опоры (фиг. 160).

Арматура

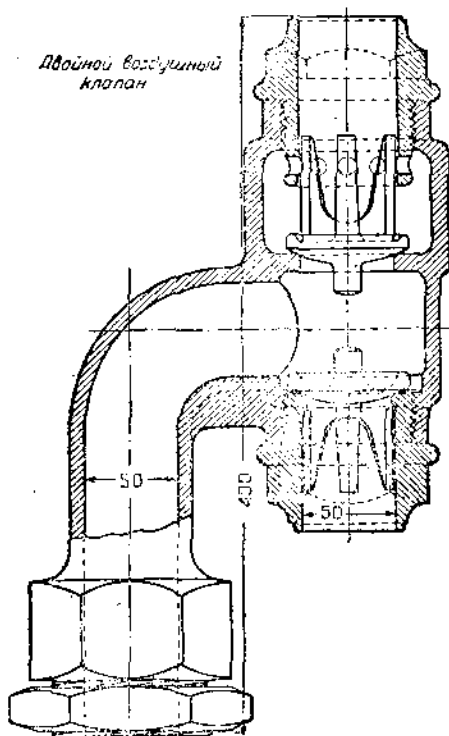
Основная нормальная арматура горизонтальных резервуаров состоит из: 1) лаза, 2) замерного люка и 3) крана для забора жидкости.

Лаз помещается наверху резервуара и делается диаметром 400—500 мм. Конструкция лаза приведена на фиг. 161.

Замерный люк, через который производится замер продуктовой или рейкой, помещается или на крышке лаза, или делается самостоятельным.



Фиг. 161



Фиг. 162

Кран для забора жидкости располагается обычно на газовом отводе, прикрепленном внизу резервуара. Диаметр крана берется от 38 до 63 мм в зависимости от емкости резервуара.

Следует упомянуть еще об одном приборе, которым снабжаются герметические резервуары,—о воздушном клапане. На фиг. 162 показано простейшее устройство такого клапана.

Назначение этого клапана состоит в том, чтобы во избежание повреждения резервуара автоматически выпускать или впускать воздух в резервуар при наполнении или соответственно быстром опорожнении его.

Испытание резервуара

Готовый резервуар испытывается обычно простым наливом воды до крышки лаза. Иногда технические условия испытания требуют произвести последнее на давление, несколько большее налива. В этом случае условия желательного испытания обязательно должны быть оговорены при заказе резервуара. Однако надобности в таком испытании в обычных условиях работы резервуара нет и вполне достаточно ограничиться испытанием на простой налив.

Давление, производимое наливом резервуара, может быть несколько увеличено помощью трубки небольшой высоты (примерно 1 м), устанавливаемой над наивысшей точкой резервуара.

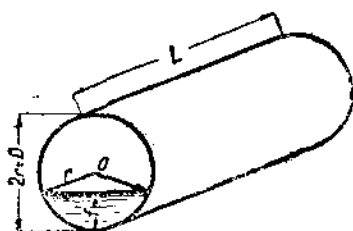
В тех случаях когда испытания водой произвести почему-либо не представляется возможным, как, например, в зимнее время при расположении резервуара на открытом воздухе и отсутствии соответствующего теплого помещения, ограничиваются пропитыванием (промазкой) швов керосином с внутренней стороны резервуара и наблюдают за просачиванием керосина с внешней стороны. Все места, где обнаруживается такое просачивание, подчеканиваются.

Измерение объема

Замер в горизонтальных резервуарах более сложен, чем в вертикальных, в особенности в резервуарах с выпуклыми днищами.

Определение объема, занимаемого продуктом, находящимся в горизонтальном резервуаре с плоскими днищами, производится следующим образом (фиг. 163).

При наполнении нижней половины резервуара, т. е. от $f=0$ до $f=r$, объем, занимаемый продуктом, легко определяется по следующей простой формуле:



Фиг. 163

$$V = L \cdot \omega = L \cdot \frac{4}{3} \cdot f^3 \sqrt{\frac{2r}{f}} - 0,608.$$

Формула эта хотя приближенная, но настолько точная, что вполне может быть применяема на практике.

В самом деле, сравним площадь сегмента, получаемую по этой формуле, с площадью сегмента, получаемой по точной формуле. Точная формула для площади кругового сегмента имеет вид:

$$\omega = \frac{r^2}{2} \left(\frac{\varphi \pi}{180} - \sin \varphi \right) = \frac{r(b-s)}{2}.$$

Здесь φ° — центральный угол в градусах,

b — длина дуги, соответствующей φ му,

s — длина хорды,

f — высота стрелки,

$\varphi = \frac{\varphi^\circ \pi}{180}$ — дуга, соответствующая радиусу, равному единице.

При высоте стрелки $f = \frac{r}{2}$ точная формула дает площадь сегмента:

$$\omega = \frac{120}{180} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot r^2 - \frac{r^2}{2} \sqrt{\frac{3}{4}} = 0,6142 r^2$$

(угол φ° при $f = \frac{r}{2}$ равен 120°).

По приближенной формуле:

$$\omega = \frac{4}{3} f^2 \sqrt{\frac{2r}{f}} - 0,608 = 0,614 r^2.$$

Как видно из сравнительного примера, разница ничтожная.

При наполнении резервуара выше половины его (фиг. 164), т. е. когда уровень продукта находится в верхней половине окружности поперечного сечения его, объем, занимаемый продуктом, определяется по формуле:

$$V = L \cdot \omega = L \left[\pi \cdot r^2 - \frac{4}{3} f^2 \sqrt{\frac{2r}{f}} - 0,608 \right].$$

$$\text{При } f = 0 \dots \dots \dots V = L \cdot \pi \cdot r^2$$

$$> f = r \dots \dots \dots V = 1,57 \cdot L r^2$$

$$> f = \frac{r}{2} \dots \dots \dots V = 2,527 \cdot L r^2$$

При сферических днищах задача определения объема, занимаемого продуктом, значительно усложняется. В этом случае может быть применен следующий простой способ определения добавочного объема, создаваемого сферическим дном, дающий результаты в допустимых пределах погрешности при замерах и устраняющий длинные и утомительные вычисления.

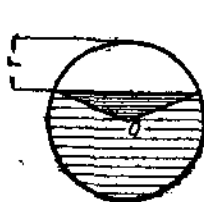
Сперва определяется объем сферического сегмента, образуемого дном по его стрелке и диаметру резервуара, по формуле:

$$V = \frac{\pi f}{6} [3r^2 + f^2],$$

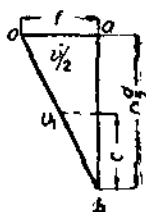
где f — высота сегмента,

r — радиус его основания, или, что то же, радиус окружности резервуара.

Далее, принимаем днище за конус (фиг. 165), причем треугольник oab



Фиг. 164



Фиг. 165

соответствует половине объема сферического сегмента. Если стрелка сегмента $f=oa$ и $ab=r$ (радиус основания сферического сегмента), то:

$$V_1: \frac{V}{2} = c:r,$$

где c — высота уровня продукта. Этот метод дает, конечно, приближенные значения, но вполне достаточные при замерах.

§ 12. Резервуары-цистерны

В железнодорожных цистернах поперечному сечению цилиндра придают обычно для простоты изготовления форму круга. В цистернах, предназначенных для автомобильного транспорта, поперечному сечению цилиндра иногда придают эллиптическую форму. Цистерны, обращающиеся по железнодорожной сети СССР, имеют емкость до 30 м³.

Диаметры резервуаров-цистерн обычно имеют размеры от 1,5 до 2,5 м; длина же резервуаров колеблется от 4,6 до 11,5 м.

В Америке емкость цистерн доходит до 50 м³; употребляются также цистерны с резервуарами, разделенными на два или три отделения для перевозки разных продуктов.

Днища резервуаров цистерн обычно сферические. Нижние листы резервуаров толще верхних; наименьшая толщина листов резервуаров американских цистерн дана в приводимой таблице.

Диаметр резервуара в м	Толщина листов в мм			
	в нижней части	в верхней части	днища	колпак
1,5	11	6	13	8
1,5—2	11	8	13	8
2—2,5	13	10	13	8

Заклепочные швы резервуаров цистерн делаются внахлестку, все двойные, как продольные, так и кольцевые, за исключением швов колпака, которые могут быть одинарными.

Глава пятая

Резервуары для хранения воды

Если для хранения нефтепродуктов мы имеем вполне установившийся тип резервуара, а именно, главным образом, вертикальный цилиндрический резервуар, то в отношении резервуаров, имеющих своим назначением хранение воды, этого сказать нельзя. Размер и форма водохранилищ весьма разнообразны и в значительной степени зависят от того сооружения, на котором или в котором они находятся.

Нефтяной резервуар сам по себе представляет совершенно законченное сооружение, резервуар же для воды в большинстве случаев является только элементом целого сооружения, представляющим по стоимости сравнительно с самим сооружением небольшую величину.

Поэтому вопрос о придании наиболее выгодных размеров резервуару, представляющий в нефтяных резервуарах довольно существенное значение, в резервуарах для хранения воды такой роли не играет, поскольку доминирующей целью является разрешение вопроса о формах и размерах самого сооружения с точки зрения его целесообразности, рационального конструктивного оформления и придания архитектурно красивого вида с одновременным достижением наибольшей экономичности всего сооружения в целом.

Области применения резервуаров для воды разнообразны. Устраиваются резервуары специально в качестве аккумуляторов питьевой воды, включая их в водопроводную сеть, в качестве хранилищ, потребных для различных производственных целей на фабриках и заводах, в качестве агрегатов железнодорожного водоснабжения, в качестве хранилищ воды специально для противопожарных целей, причем иногда в одновременном сочетании с хранилищем питьевой воды, в качестве хранилищ питательной воды в котельных силовых станций, в качестве водосборников, содержащих в себе трубы холодильников, и пр.

В зависимости от перечисленных назначений и в зависимости от того, помещается ли резервуар на специально предназначенном для него сооружении или он располагается в производственном здании, и в зависимости от характера объема и площади отводимого для него помещения резервуары для воды разделяются на:

А) цилиндрические резервуары и Б) прямоугольные резервуары.

Цилиндрические резервуары, в свою очередь, делятся на:

1) резервуары цилиндрические с плоским дном, устанавливаемым непосредственно на половой настиле, деревянный или бетонный, на балочных основаниях из деревянных, железных или железобетонных балок;

2) резервуары цилиндрические с пространственными днищами — сферической формы или полусферовыми, конической формы или в обоюдном сочетании указанных поверхностей (резервуар системы Нитце), располагаемые как в специальных зданиях для них, так и на специально возводимых конструкциях и сооружениях¹. Прямоугольные резервуары могут быть разделены на:

1) резервуары прямоугольной или квадратной формы со связями между стенками внутри резервуара или свободные внутри от всяких связей, разделенные перегородками или без них, со съёмными крышками или открытые;

2) резервуары с поперечным сечением в виде прямоугольника и в виде многогранника в плане замкнутого или разомкнутого.

Объем водохранилищ чрезвычайно разнообразен и зависит от тех целей, для которых они строятся. У нас для больших водохранилищ, помещаемых на высоте над уровнем земли, преимущественно употребляются цилиндрические резервуары с днищами плоскими или пространственными, преимущественно сферическими или системы Нитце, емкостью до 1250 м³.

Прямоугольные резервуары невыгодны по весу и применяются для небольших емкостей.

Применяющиеся емкости резервуаров на башнях разнообразны и составляют, приблизительно, 200, 300, 400 м³ и более, но встречаются резервуары емкостью до 4000 и до 6000 м³.

Металлические резервуары прямоугольной формы встречаются в зарубежной практике также больших размеров (до 1300 м³) со стенками из специальных штампованных листов, собираемых на болтах.

Примеры таких сооружений приведены в § 3 настоящей главы.

Переходим теперь к подробному рассмотрению каждого из перечисленных выше типов резервуаров и описанию всех свойственных каждому типу особенностей.

Цилиндрические резервуары

Наиболее часто применяющиеся в практике строительства СССР емкости цилиндрических резервуаров для воды составляют 90, 120, 150, 200, 300, 375, 400, 500, 650 и 750 м³.

Были осуществлены постройкой резервуары и больших емкостей — в 1000 и 1250 м³.

Объем резервуара составляется из объема цилиндрической части и объема пространственного днища, если днище не плоское. Так как вода в резервуаре обычно не доходит до края верхнего угольника резервуара на 100—150—200 мм, то при определении полезного объема резервуара указанный объем недолива вычитается из общего объема резервуара.

Цилиндрическая часть таких резервуаров конструируется во всем подобно аналогичным частям резервуаров для нефтепродуктов, поэтому на ней мы не останавливаемся.

Толщина стенок определяется по тем же формулам, что и толщина стенок резервуаров для нефтепродуктов, причем к определенной рас-

¹ К этой же группе относятся кольцевые резервуары, устраиваемые в виде цилиндрического кольца, располагаемые на дымовых трубах по внешней стенке их, с целью использования существующей трубы вместо постройки специального сооружения.

четным путем толщине стенок обычно делается прибавка в 1—2 мм, идущая на ржавление и разъедание стенок.

Швы в поясах стенок цилиндрической части резервуаров применяются внахлестку, в большинстве случаев двухрядные, так как толщина металла стенок резервуара указанных емкостей небольшая — 5, 6, 7 мм.

Шаг заклепок для швов внахлестку определяется, как это было указано при рассмотрении швов. Максимальный шаг в резервуарах для воды, определяемый из условий плотности шва, допускается большим, чем в нефтяных, а именно до 10 δ.

Цилиндрические резервуары для воды с плоским или пространственным дном, как было упомянуто выше, располагаются или в производственных зданиях, или в специально устроенных для них в каменных или бетонных водоемных зданиях, или на специальных конструкциях — металлических, железобетонных или деревянных опорах — башнях.

В случае расположения резервуара в здании резервуар обычно устраивается открытым без крыши, крышей резервуара служит покрытие самого здания.

В случае расположения резервуара на специальных башнях покрытие резервуара устраивается или на самом резервуаре с опорой на его стенки в резервуарах, открыто располагаемых на башнях (если климатические условия позволяют это сделать беспрепятственно), или весь резервуар целиком заключается в утеплительный шатер (обычно деревянный), расположенный на том же сооружении, на каком устанавливается и сам резервуар; в последнем случае резервуар не имеет покрытия и обычно его покрытием служит крыша самого утеплительного шатра. В наших климатических условиях этот тип является наиболее распространенным и применяется даже в жарких местностях с целью защиты и предохранения воды от нагревания.

В резервуарах, открыто располагаемых на башнях, крыша устраивается металлической из железа толщиной 2—3 мм, конической формы на металлических или деревянных стропилах, опирающихся на стенки резервуара.

§ 1. Резервуары с плоскими днищами

Резервуары для воды с плоскими днищами имеют у нас широкое распространение, главным образом, из-за простоты их изготовления, хотя вес всего сооружения в целом при этом получается большим, нежели в случаях сферического или конического дна, так как плоское дно требует устройства тяжелого балочного настила на сооружении, поддерживающем резервуар.

Общий объем цилиндрического резервуара с плоским дном определяется по обычной формуле объема цилиндра: $V = \pi \cdot R^2 \cdot H$. Так как все резервуары для воды с плоским дном вместимостью до 650 м³ включительно имеют однообразную толщину стенок в цилиндрической части, то наиболее выгодные размеры резервуара определяются по формуле для подобных же нефтяных резервуаров, а именно:

$$\frac{H}{R} = \frac{\lambda}{\delta},$$

где H — высота резервуара,

R — радиус окружности резервуара,

δ — толщина стенок,

λ — толщина железа, эквивалентная весу всего дна и крыши (в случае открытых резервуаров только дна).

Толщина железа дна и стенок резервуаров для воды с плоским дном емкостью до 650 м³ включительно составляет обычно 5 мм. Следовательно, отношение $\lambda:\delta=1$ и наиболее выгодные размеры резервуара будут при условии равенства высоты резервуара радиусу его окружности, т. е. при $H=R$.

Как указано было выше, на практике очень часто несколько отступают от этих соотношений в зависимости от имеющихся размеров листов железа и по проектным соображениям общего порядка, поскольку резервуар представляет собой в сооружении не самодовлеющую величину, а только составной элемент его.

Устройство плоских дниц было показано подробно в нефтяных резервуарах. Здесь следует только указать, что толщина днища принимается несколько большей, чем в нефтяных резервуарах аналогичной емкости, а именно 5 мм вместо 4 мм. Эта толщина не является, конечно, обязательной и берется, главным образом, из соображений ржавления дна, имея в виду, что последующая смена днища в водяных резервуарах значительно труднее, нежели в нефтяных, так как водяные резервуары в большинстве случаев располагаются на значительной высоте.

Плоское днище водяных резервуаров располагается обычно на половом настиле. Устройство деревянного настила на особых опорах — башнях показано в § 3 настоящей главы.

Приводим таблицу (стр. 184) наиболее употребительных в практике нашего строительства емкостей водяных резервуаров с плоским дном и их размеров, располагаемых на особых опорах — башнях.

В СССР почти исключительно применяются для этой цели сетчатые гиперболические опоры Шухова.

В центральной части днища в месте присоединения и прохождения трубопровода ставится обычно лист большей толщины, чем толщина листов всего дна, с целью укрепления дна, в месте вырезов в нем для труб и лучшей связи его с трубопроводом.

Во всех указанных в таблице резервуарах ставится лист толщиной 5 мм, размерами 2000 × 1500 мм, вполне достаточными для прикрепления такого сложного трубопровода с большим количеством труб.

Вес резервуаров, указанных в таблице емкостей, колеблется от 45 до 100 т на 1 м³ емкости (в зависимости от объема резервуара). Чем больше объем резервуара, тем меньше его вес на 1 м³ объема. Число заклепок на 1 т веса резервуара составляет в среднем от 700 до 850. Из приведенной таблицы видно, что при возрастании объема резервуара при том же диаметре его число заклепок, приходящееся на 1 т веса его, убывает.

Примерный вес резервуара для воды с плоским дном емкостью и пределами до 700 м³ из железа толщиной 5 мм может быть определен достаточно точно по следующей эмпирической формуле:

Вес резервуара в кг:

$$Q = 205 \sqrt[3]{V^2} \text{ кг,}$$

где V — объем резервуара в м³.

Резервуары для воды с плоским

Емкость V в м^3	90	120	200	220
Диаметр D в м	7	7	7	8,3
Высота H в м	2,4	3,2	5,2	3,6
Размер листов	4 500×1 500	4 500×1 500	4 500×1 500	4 500×1 500
Толщина стенок поясов в мм	5	5	5	5
Тип вертикального шва	Двухрядный внахлестку	Двухрядный внахлестку	Двухрядный внахлестку	Двухрядный внахлестку
Диаметр заклепочных отверстий в мм	12	12	12	12
Число делений в I ряду вертикального шва в целом листе	30	30	30	30
Число делений во II ряду вертикального шва в целом листе	27	27	27	27
Приблизительный шаг заклепок вертикального шва в мм	50	50	50	50
Перекрытие швов в мм	67	67	67	67
Тип кольцевых швов	Однорядный внахлестку	Однорядный внахлестку	Однорядный внахлестку	Однорядный внахлестку
Диаметр заклепочных отверстий в мм	12	12	12	12
Число делений по длине целого листа	120	120	120	120
Приблизительный шаг заклепок кольцевого шва в мм	37	37	37	37
Перекрытие швов в мм	40	40	40	40
Толщина листов дна в мм	5	5	5	5
Тип швов дна	Однорядный внахлестку	Однорядный внахлестку	Однорядный внахлестку	Однорядный внахлестку
Диаметр заклепочных отверстий в мм	12	12	12	12
Приблизительный шаг заклепок швов дна в мм	37	37	37	37
Перекрытие швов дна в мм	40	40	40	40
Размер центрального листа дна	2000×1500×8	2000×1500×8	2000×1500×8	2000×1500×8
Угольщик { Размер нижнего угольника	75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8
Размер верхнего угольника	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6
Вес резервуара в кг	4 100	5 200	7 100	7 500
Вес резервуара на 1 м^3 емкости в кг	45,5	43,3	35,5	34
Общее число заклепок на резервуар	3 500	4 250	5 300	6 000
Число заклепок на 1 т веса	855	820	750	800

* Некоторое повышение веса получается вследствие измерения толщины железа нижнего

Индикаторы на опорах сист. Шухова

300	320	375	400	500	630	700	
8,9	8,9	8,9	8,9	9,86	9,86	9,86	
4,9	5,2	6,1	6,5	6,6	8,5	9,5	
500×1 500	4 500×1 500	4 500×1 500	4 500×1 500	4 500×1 500	4 500×1 500	4 500×1 500	
5	5	5	5	5	5	Нижн. пояс 6	Ос- тавь. п. 5
Двухрядный ввахлестку	Двухрядный ввахлестку	Двухрядный ввахлестку	Двухрядный ввахлестку	Двухрядный ввахлестку	Двухрядный ввахлестку	Двухрядный ввахлестку	
12	12	12	12	12	12	14	12
30	30	30	30	30	30	27	30
27	27	27	27	27	27	24	27
50	50	50	50	50	50	55	50
67	67	67	67	67	67	75	67
Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	
12	12	12	12	12	12	12	12
120	120	120	120	120	120	120	120
37	37	37	37	37	37	37	37
40	40	40	40	40	40	40	40
5	5	5	5	5	5	5	
Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	Однорядный ввахлестку	
12	12	12	12	12	12	12	
37	37	37	37	37	37	37	
40	40	40	40	40	40	40	
2000×1500×8	2000×1500×8	2000×1500×8	2000×1500×8	2000×1500×8	2000×1500×8	2000×1500×8	
75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8	
50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	
100	9 450	10 600	11 000	12 600	14 300	17 000	
30,3	29,5	28,2	27,5	25,2	22	24,3 *	
200	7 250	8 300	8 400	9 200	10 400	10 900	
790	770	780	765	730	730	650	

в этом резервуаре с 5 мм на 6 мм.

§ 2. Резервуары с пространственными днищами

К пространственным днищам относятся днища, которым придана сферическая или полусферовая форма, или коническая, или взаимное сочетание этих форм.

При больших резервуарах экономия в весе при применении пространственных днищ представляет существенную величину, кроме того опорное кольцо таких днищ в конструктивном отношении позволяет в большинстве случаев произвести удачное сочетание его с самой опорой и таким образом является удобным конструктивным элементом при оформлении всего сооружения в целом. Единственным препятствием распространения пространственных днищ, в особенности сложных днищ, составленных из различного вида поверхностей, как уже о том упоминалось ранее, является затруднительность их изготовления, требующая чрезвычайно тщательной, аккуратной и сравнительно дорогой работы.

Сферические и полусферовые днища

Резервуары со сферическими днищами наиболее всего употребительны в водоемных зданиях.

Сферическая поверхность, по которой очерчивается дно, представляет собой обычно шаровую поверхность определенного радиуса ρ в зависимости от заданной стрелки провеса f дна и радиуса цилиндрической части резервуара r .

Зависимость эта весьма просто выражается формулой:

$$\rho = \frac{r^2 + f^2}{2f}.$$

Величине стрелки f придают на практике, примерно, следующие значения: $f = \frac{1}{2,5} r$; $f = \frac{1}{3} r$; $f = \frac{1}{3,5} r$ и $f = \frac{1}{4} r$.

Чаще всего величине f придают значение $f = \frac{r}{3}$; при этом $\rho = \frac{5}{3} r$.

Объем резервуаров со сферическими днищами составляется из объемов цилиндрической и сферической частей и выражается общеизвестной геометрической формулой:

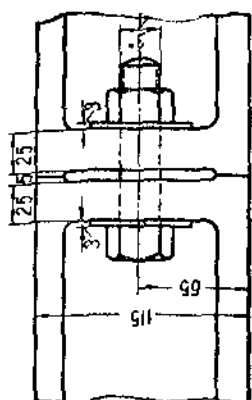
$$V = \pi r^2 h + \frac{1}{6} \pi f (3r^2 + f^2),$$

где h — высота цилиндрической части резервуара, а r и f — по предыдущему обозначению. Приблизительно объем V может быть определен по формуле: $V = \pi r^2 \left[h + \frac{f}{2} \right]$.

а) Конструкция днища. Вся шаровая поверхность сферического провеса днища параллельными и меридиональными кругами делится на ряд трапециевидальных секторов размерами в пределах установленных для проката листов; взаимное сочетание этих секторов производится помощью однородных или двухрядных заклепочных швов и в этом отношении все сферические днища аналогичны.

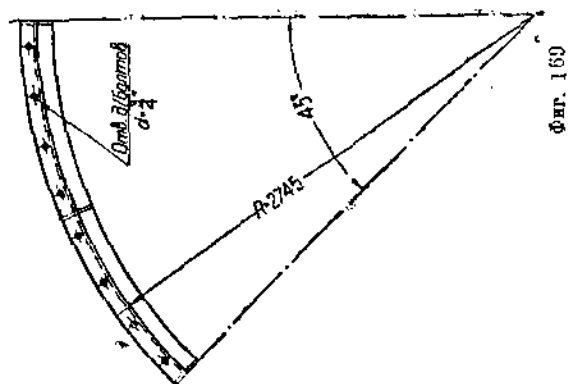
Разнообразным по своему конструктивному оформлению является в этих резервуарах только место сопряжения сферической части днища с цилин-

Чугунная опора колеса по в. разрезу

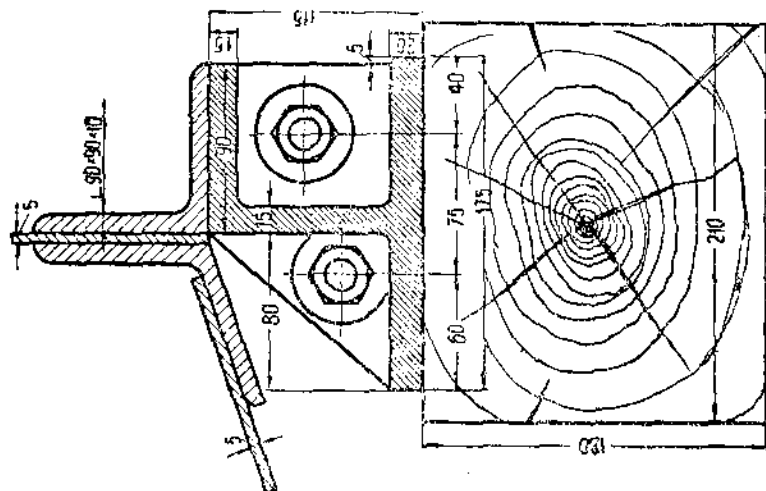


Фиг. 168

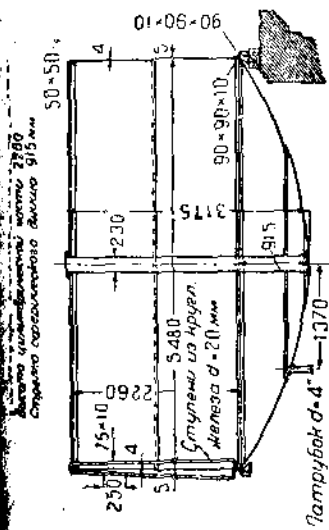
Опора колеса
Состоится из 8 частей, по 8 частей по 8 частей



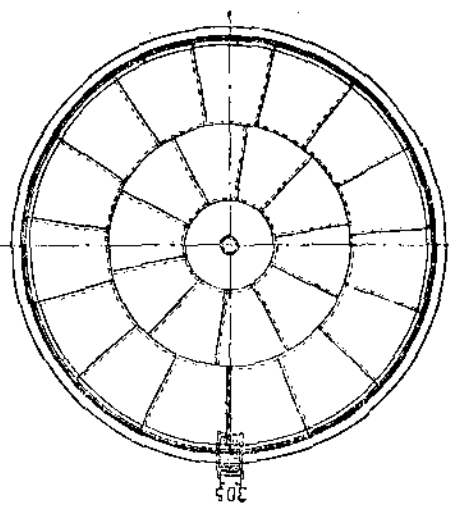
Фиг. 169



Фиг. 167

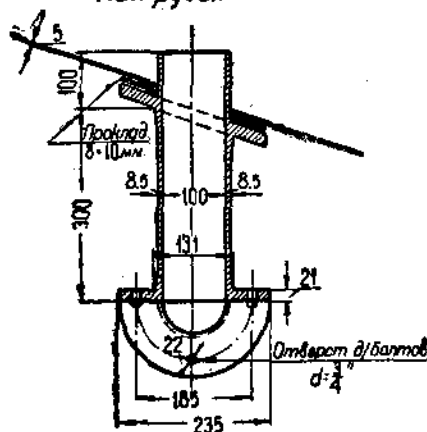


Фиг. 166

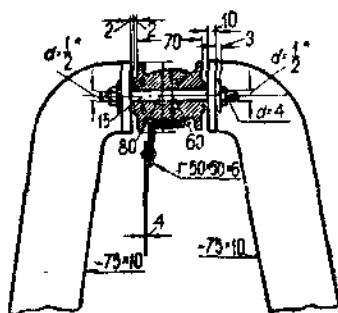


Фиг. 165

Πατρυδοί



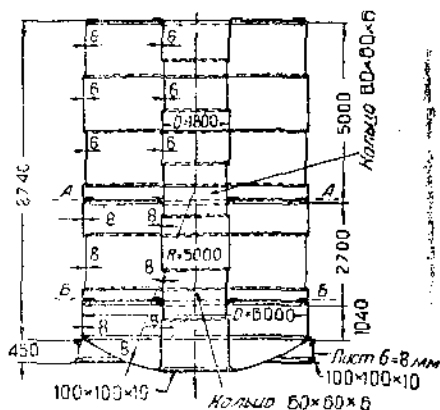
ΦΥΛ. 170



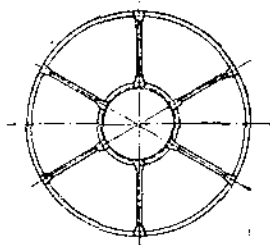
ΦηΓ. 171

 $D = 6000; H = 8740$

Стрелка джигза $f=1000$

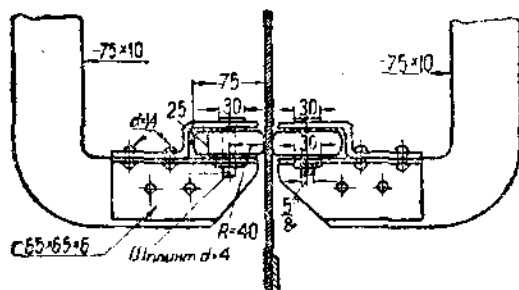


План расположения тляе по
верхнему кольцу по АА и ББ
тляе из 60×60×6



ΦΗΓ. 173

В случае, когда резервуар ставится опорным угольником на самостоятельное, независимое от него, чугунное опорное кольцо, состоящее из ряда отдельных частей, сболченных между собой, место сопряжения сферического дна с цилиндрической частью резервуара конструируется так, как показано на фиг. 166, 167, 168 и 169.



Φ:πr. 172

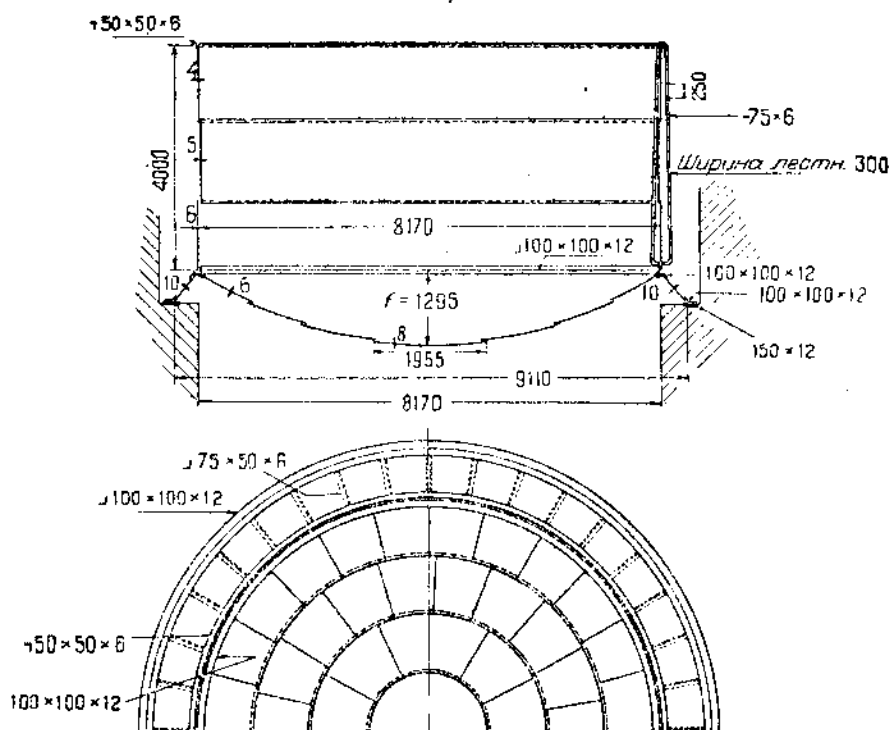
Фиг. 172

По верхней горизонтальной
 доле каждого звена просвер-
 лены отверстия числом по 8
 для болтов $d = \frac{3}{4}$ ", помощью
 которых опорный угольник ре-
 зервуара соединяется с чугунным опорным
 кольцом. Вес данного кольца
 составляет, примерно, 950 кг.

На фиг. 170 показана деталь присоединения патрубка к днищу резер-

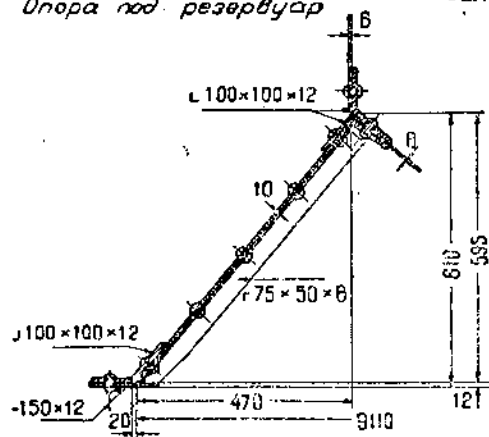
вуара, а на фиг. 171 и 172 — детали верха и низа двухсторонней катушей лестницы, которой снабжается резервуар и помощью которой можно попасть внутрь резервуара.

*Резервуар емкостью $V=250\text{ м}^3$ $D=8170$; $H=4000$
стрелка $f=1295$*



Фиг. 177

Опора под резервуар



Фиг. 178

Вместо чугунного опорного кольца часто применяют клепаные кольца, соединяемые с опорным угольником резервуара также болтами. В этом случае опорное кольцо так же, как и при чугунном кольце, рассчитывается независимо от резервуара; сечение же опорного кольца совсем не входит в расчетную площадь сечений элементов сопряжения сферической части резервуара с цилиндрической его частью.

На фиг. 173 показана одна из конструкций подобной опоры для резервуара емкостью 230 м^3 . Резервуар этот имеет несколько необычное соотношение между высотой и диаметром.

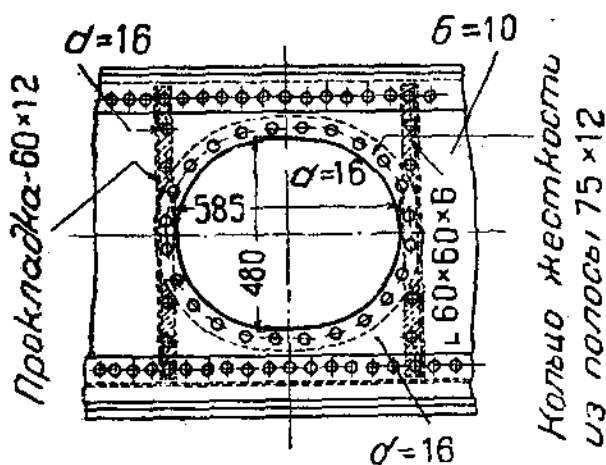
Фиг. 174 показывает деталь конструкции опорного кольца этого резервуара и клепаной подставки под него.

Иногда в небольших резервуарах ограничивается постановкой опорных колец из прокатных профилей швеллеров или двутавров, как это показано на фиг. 175 и 176.

Однако не всегда бывает возможно произвести установку резервуара, описанными выше способами.

Очень часто, в особенности в водоемных зданиях, является необходимость в устройстве специальных конических опор для резервуаров для того, чтобы сохранить между цилиндрическим корпусом резервуара и стеной водоемного здания свободный проход для осмотра и обслуживания резервуара во время эксплуатации его и в то же время избежать излишнего утолщения стены в месте опоры резервуара. В таких случаях прибегают к устройству конических опор по типу, изображенному на фиг. 177 и 178.

Верхний угольник конической опоры склепывается с угольником резервуара и составляет одно целое в месте сопряжения сферического дна с цилиндрическими стенками резервуара, а потому сечение конической опоры в верхней своей части участвует наравне с непосредственными элементами самого резервуара в этом месте в сопротивлении сжимающим усилиям, действующим по опорному кольцу резервуара.



Фиг. 179. Лаз в опорной раме резервуара

Для прохода снизу в пространство вокруг резервуара в конической опоре делаются один или два лаза в конической его поверхности. Устройство лаза и укрепление его показаны на фиг. 179.

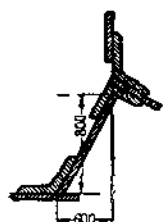
Сечения элементов конической опоры и опорного угольника резервуара определяются размерами резервуара и его объемом и различны для различных резервуаров.

Ниже приведена таблица таких резервуаров наиболее употребительных емкостей с указанием всех элементов сечений соответственно возникающим в них усилиям при наполнении резервуаров водой. При составлении этой таблицы были выбраны резервуары, удовлетворяющие следующим условиям:

1. Стрелка провеса дна имеет значение $f = \frac{r}{3}$.

Объем резервуаров V в м^3 . . .	275	230	190	160
Диаметр D в м	8,48	7,87	7,17	6,56
Высота цилиндрической части H в м	4,14	4,14	4,14	4,14
Стрелка дна f в м	1,41	1,31	1,195	1,09
Размер листов	4200×1400	4200×1400	4200×1400	4200×1400
Число листов в поясе	$6\frac{1}{2}$	6	$5\frac{1}{2}$	5
Число поясов	3	3	3	3
Толщина же- леза, поясов и дна в мм	I	6	6	6
	II	5	5	5
	III	5	5	5
	IV	—	—	—
	V	—	—	—
	Дно	6	6	6

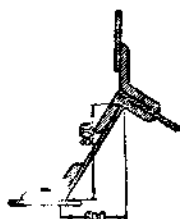
Конструкция опорного узла со-
гласно эскизу



Размер внутреннего угольника опорного кольца	$100 \times 100 \times 14$	$100 \times 100 \times 12$	$80 \times 80 \times 12$	$75 \times 75 \times 12$
Размер наружного угольника опорного кольца	$100 \times 100 \times 14$	$100 \times 100 \times 12$	$80 \times 80 \times 12$	$75 \times 75 \times 12$
Толщина железа конической под- ставки	8	8	8	8
Размер опорного угольника на кладке	$100 \times 100 \times 10$	$100 \times 100 \times 10$	$100 \times 100 \times 10$	$100 \times 100 \times 10$
Размер опорной полосы	150×12	150×12	150×12	150×12
Размер верхнего угольника ре- зервуара	$50 \times 50 \times 6$	$50 \times 50 \times 6$	$50 \times 50 \times 6$	$50 \times 50 \times 6$
Размер угольника жесткости по подставке, расстояние между угольниками ~ 1 м	$50 \times 50 \times 6$	$50 \times 50 \times 6$	$50 \times 50 \times 6$	$50 \times 50 \times 6$
Вес в кг {	резервуара	10 300	8 500	7 700
	конической под- ставки	3 100	2 900	2 600
Суммарный вес	13 400	11 400	10 300	9 200
Вес резервуара на 1 м^3 емко- сти в кг	37,5	38	40,5	42

нищами на конических опорах

135	125	105	85	80	60	50	35
6,56	5,86	5,86	5,86	5,25	4,54	4,51	3,93
3,4	4,14	3,4	2,78	3,4	3,4	2,78	2,78
1,09	0,976	0,976	0,976	0,875	0,756	0,753	0,655
200×1400	4200×1400	4200×1400	4200×1400	4200×1400	4200×1400	4200×1400	4200×1400
5	4 1/2	4 1/2	4 1/2	4	3 1/2	3 1/2	3
2 1/2	3	2 1/2	2	2 1/2	2 1/2	2	2
5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	—	5	5	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
5	5	5	5	5	5	5	5



75×75×10	75×75×10	75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8	65×65×8
75×75×10	75×75×10	75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8	75×75×8	65×65×8
8	8	6	6	6	6	5	5
90×90×10	90×90×10	90×90×10	90×90×12	90×90×12	90×90×10	80×80×10	75×75×10
120×10	120×10	120×10	—	—	—	—	—
50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6
50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6	50×50×6
5 400	5 300	4 600	4 000	4 000	3 300	2 900	2 400
2 800	2 100	1 800	1 600	1 500	1 200	1 100	900
7 700	7 400	6 400	5 600	5 500	4 500	4 000	3 300
40	42,5	43,5	47	50	55	58	68,5

2. Конической поверхности опоры придан такой уклон, что верхний угольник опоры всегда сохраняет прямой угол, т. е. угольник не размаковывается и не смалковывается, а только изгибается по окружности.

Для обеспечения этого положения (фиг. 180) необходимо, чтобы было удовлетворено соотношение:

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

где

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{r}{\rho - f}.$$

Если $f = \frac{r}{3}$, то $\rho = \frac{5}{3}r$ и $\operatorname{tg} \beta = \frac{3}{4}$; откуда $\frac{a}{b} = \frac{3}{4}$ и $a = \frac{3}{4}b$. Если $a = 600$ мм, то $b = 800$ мм.

Эти размеры и приняты при конструировании конической опоры.

3. Резервуары изготавливаются из стандартных листов размерами 4200×1400 мм с полным использованием листов.

Из таблицы видно, что вес самих резервуаров без подставок колеблется для указанных в таблице емкостей резервуаров в пределах от 37,5 до 68,5 кг на 1 м³ емкости.

Нетрудно видеть, что вес резервуаров в пределах указанных в таблице емкостей определяется достаточно точно следующими эмпирическими формулами:

Вес резервуара без опорной конической части:

$$Q = 220 \sqrt[3]{V^2} \text{ в кг.}$$

Вес резервуара с опорной конической частью:

$$Q = 300 \sqrt[3]{V^2} \text{ в кг,}$$

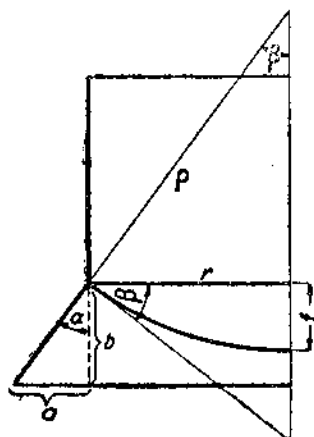
где V — объем резервуара в м³.

Все указанные в таблице резервуары могут быть установлены на кольцевых опорах другого вида (не конических), подобно тому, как это показано на предыдущих чертежах (фиг. 166, 173 и 175). В этом случае верхний угольник опоры располагается, как показано на упомянутых чертежах, причем указанные в таблице сечения опорных угольников сохраняются.

На фиг. 181 приведен пример конструкции конической опоры, не связанной с резервуаром, применяемой иногда на практике. Из приведенного чертежа видно, что конструкция конической опоры в этом случае чрезвычайно сложна в изготовлении и тяжела по весу и вряд ли может быть оправдана поставленной целью.

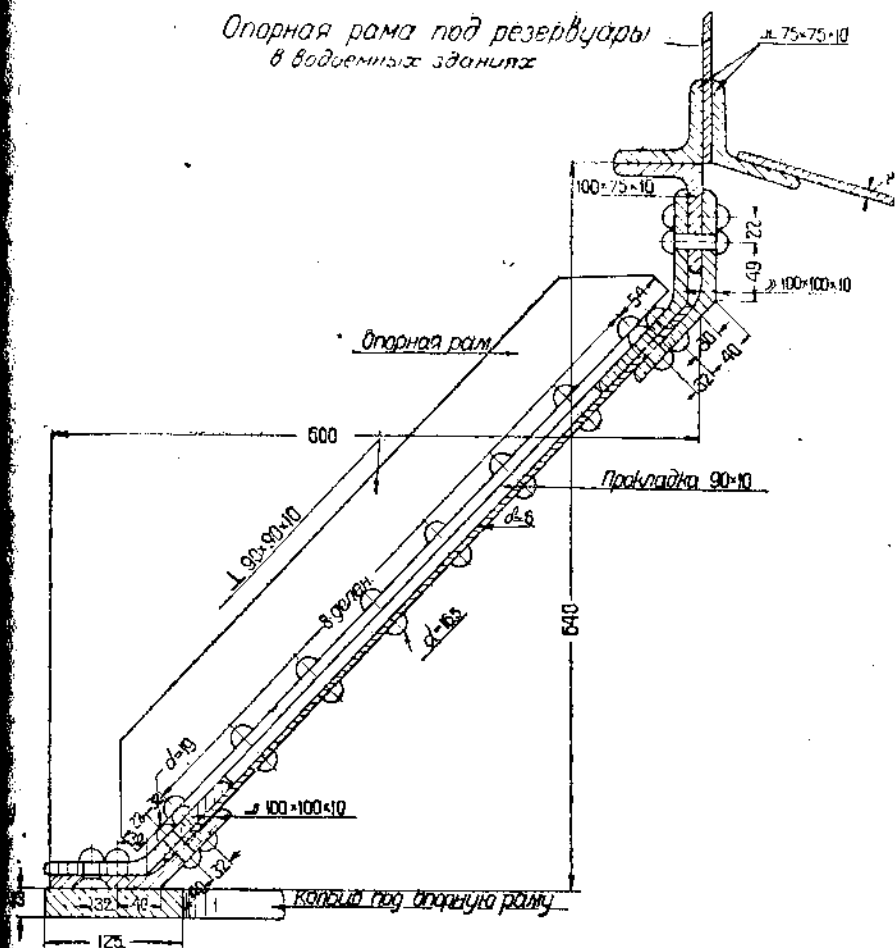
На фиг. 182 показан общий вид расположения резервуаров на конических опорах в водоемных зданиях.

Вместо устройства конических опор резервуар может быть установлен на металлических лапах, приклепанных к стенкам резервуара, как это видно на приводимом примере резервуара емкостью около 200 м³ (фиг. 183).



Фиг. 180

На фиг. 184 и 185 изображены детали крепления лапы и опорной плиты под нее.

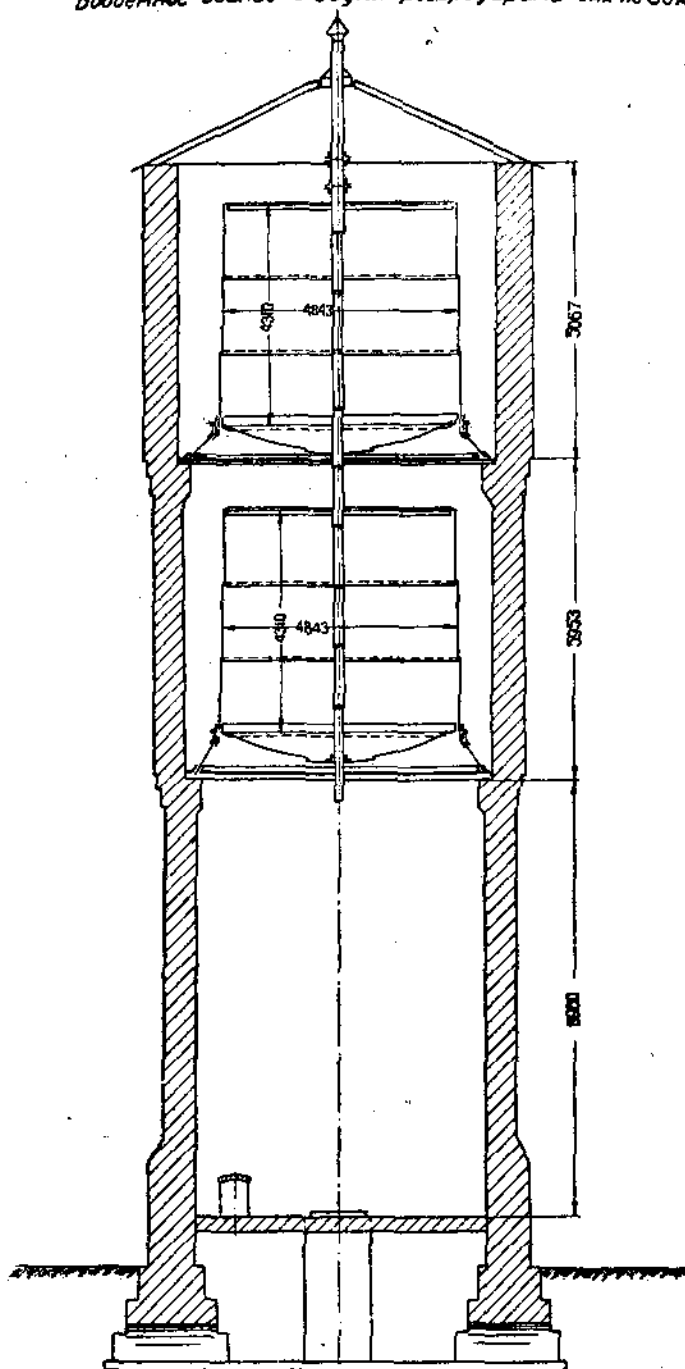


Φμτ. 181

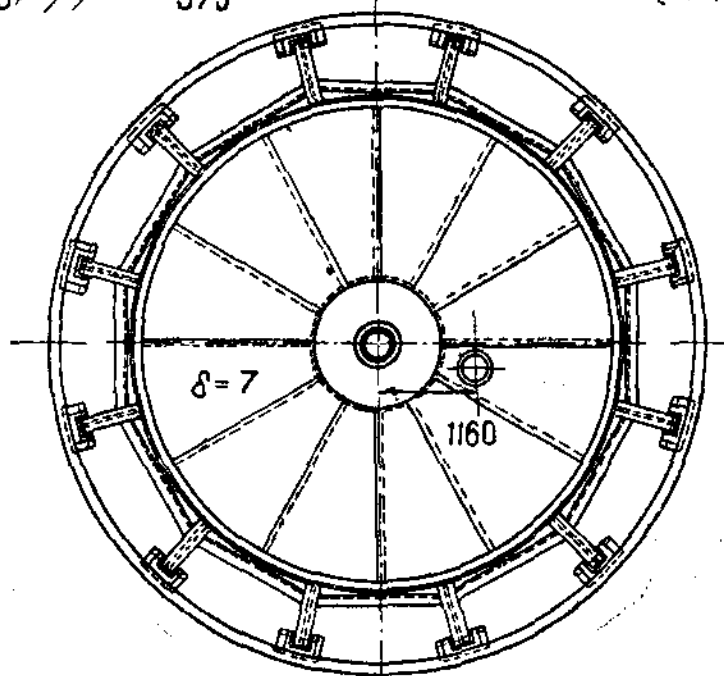
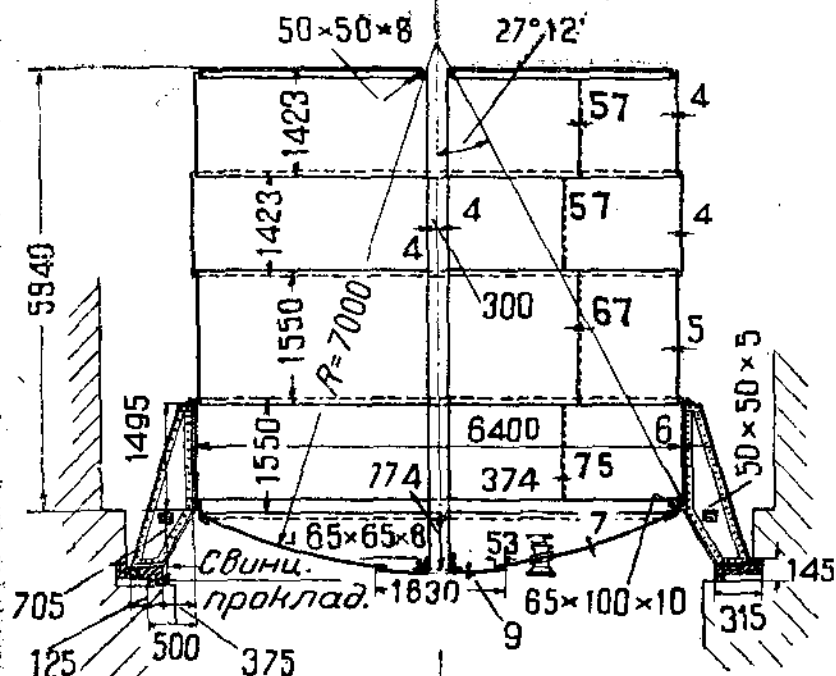
Приведем здесь пример еще одного резервуара большой емкости в 5000 м³. Опора этого резервуара представляет собой цилиндрическое железное клепаное кольцо, наглухо склепанное в верхней своей части с днищем самого резервуара, участвующее также в верхней своей части в сопротивлении сжимающим усилиям, действующим в кольце. Конструктивное оформление самого резервуара и места сопряжения цилиндрического кольца с ним показано на фиг. 186 и 187.

Ниже в примере расчета приведены усилия, действующие в различных элементах этого резервуара, и напряжения в них.

Водоемное здание с двумя резервуарами емк по 80 м³

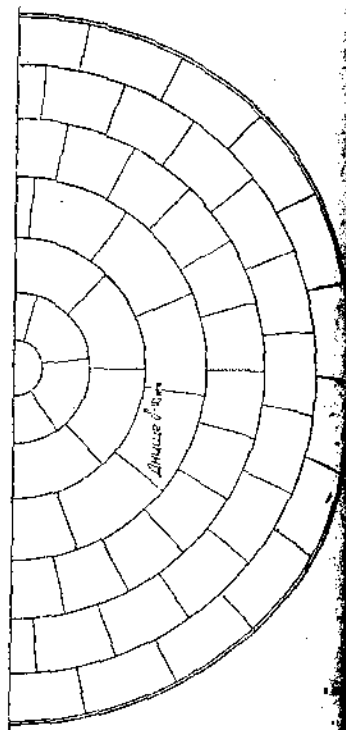
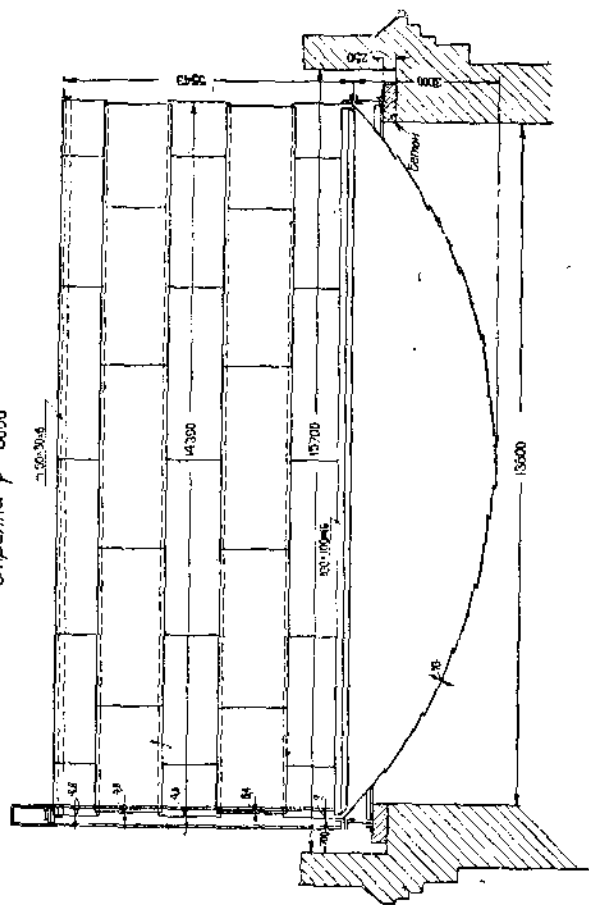


Фиг. 182

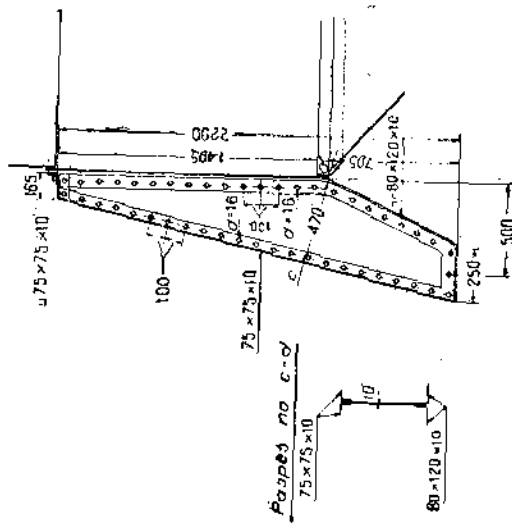
$$D=6400\text{mm} \quad H=5840; f=774$$
$$D=6400\text{mm} \quad H=5840; f=774$$


Фиг. 183

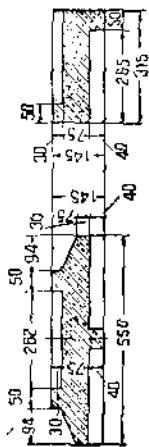
Резервуар емк. 1000 м³ тип Д-14300; высота цил. части H=5543
отсечка $\beta = 3000$



Плата резервуара



Фиг. 184

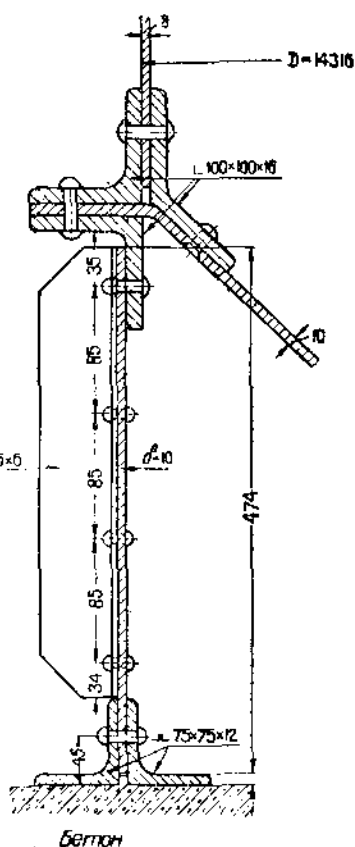


Фиг. 185



Вес приведенного резервуара составляет 45 800 кг и распадается следующим образом по отдельным составляющим его элементам:

вес стенок резервуара . . .	19 300 кг
» дна	21 000 »
» опорной части	5 500 »
Итого	45 800 »

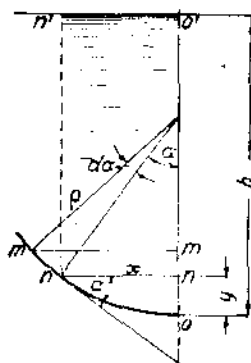


Фиг. 187

Вес резервуара без опорной части составляет, таким образом, 40,3 кг на 1 м³ емкости.

Остановимся еще на примере совместной установки резервуаров друг над другом. Такая установка очень употребительна в водонапорных баках Шухова, когда над нижним резервуаром с плоским дном устанавливается верхний резервуар со сферическим дном, покоящийся на специальных металлических стойках (фиг. 236).

Няже приводится таблица верхних малых резервуаров со сферическим днищем, устанавливаемых на



Фиг. 188

шуховых совместно с резервуарами с плоским дном. Нижние резервуары—согласно таблице, помещенной в § 1 настоящей главы.

б) Расчет сферического днища. Сферическое днище в резервуарах представляет собой сферическую поверхность, подверженную давлению, интенсивность которого неодинакова по поверхности.

Проведем на расстоянии y от нижней точки дна горизонтальную плоскость (фиг. 188) и определим разрывающее усилие, приходящееся на единицу длины рассматриваемого сечения сферы, действующее по направлению касательной к кривой меридионального сечения в рассматриваемой точке и вызываемое весом воды, приходящимся на часть дна, лежащую ниже рассматриваемого сечения.

Резервуары для воды со сферическими днищами, устанавливаемые совместно с резервуарами с плоскими днищами на опорах Шухова

Емкость V в м ³	40	80	80	100	150
Диаметр резервуара D в м.	5,17	5,17	6,57	6,57	6,57
Высота цилиндрической части резервуара H в м.	1,52	3,4	1,96	2,5	4,0
Стрелка сферического дна в м.	0,90	0,9	1,15	1,15	1,15
Размер листов	4500×1500	4500×1500	4500×1500	4500×1500	4500×1500
Толщина стенок поясов в мм	5	5	5	5	5
Тип вертикального шва	двухрядный внахлестку	двухрядный внахлестку	хрущевый внахлестку	двухрядный внахлестку	двухрядный внахлестку
Диаметр заклепочных отверстий в мм	12	12	12	12	12
Число колец в 1 ряд	30	30	30	30	30
Число вертикального шва в целом листе	27	27	27	27	27
Число колец в 1 ряд	30	30	30	30	30
Число вертикального шва в целом листе	27	27	27	27	27
Приближенный шаг заклепок вертикального шва в мм	50	50	50	50	50
Перекрышка швов в мм	67	67	67	67	67
Тип кольцевых швов	однорядный внахлестку	однорядный внахлестку	однорядный внахлестку	однорядный внахлестку	однорядный внахлестку
Диаметр заклепочных отверстий в мм	12	12	12	12	12
Число колец по диаметру листов	120	120	120	120	120
Приближенный шаг заклепок кольцевого шва в мм	37	37	37	37	37

Перекрышка швов в мм
 Толщина листов дна
 в мм
 Тип швов дна
 Диаметр заклепочных
 отверстий в мм
 Приближенный шаг
 заклепок швов дна
 в мм
 Перекрышка швов дна
 в мм
 Размер центрального
 листа
 Размер нижних опор-
 ных уголняков ре-
 зеруара
 Диаметр заклепочных
 отверстий по опор-
 ному угольнику в мм
 Приближенный шаг
 заклепок в мм
 Размер верхнего уголь-
 ника резеруара
 Конструктивная часть
 резеруара

40

5

однорядный
внахлестку

12

36

 $d=1500 \text{ мм}$
 $\delta=8 \text{ мм}$

40

75×75×8

17

50

50×50×6

40

5

однорядный
внахлестку

12

36

 $d=1500 \text{ мм}$
 $\delta=8 \text{ мм}$

40

75×75×8

17

50

50×50×6

40

5

однорядный
внахлестку

12

36

 $d=1500 \text{ мм}$
 $\delta=8 \text{ мм}$

40

75×75×8

17

50

50×50×6

40

5

однорядный
внахлестку

12

36

 $d=1500 \text{ мм}$
 $\delta=8 \text{ мм}$

40

75×75×10

17

50

50×50×6

40

5

однорядный
внахлестку

12

36

 $d=1500 \text{ мм}$
 $\delta=8 \text{ мм}$

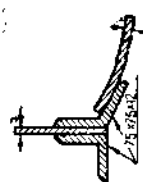
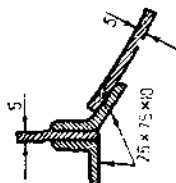
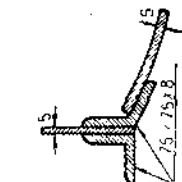
40

75×75×12

17

50

50×50×6



Вес резеруара в кг

2 600

4 000

4 000

4 600

6 000

Объем воды, падающий на часть дна, лежащую ниже сечения mn , состоит из объема цилиндра с радиусом окружности поперечного сечения x и высотой $(h-y)$ и объема нижележащего сегмента с высотой стрелки его y .

Если обозначим разрывающее усилие на единицу длины сечения, направленное по касательной к сфере дна в точке n , через t , а вес единицы воды, наполняющей резервуар, через γ , то будем иметь:

$$2\pi x \cdot t \cdot \sin \alpha = \gamma \cdot \pi \cdot x^2 (h-y) + \gamma \int_0^y \pi \cdot x^2 \cdot dy, \quad (1)$$

откуда

$$t = \gamma \cdot \frac{x(h-y)}{2 \sin \alpha} + \gamma \frac{1}{2x \sin \alpha} \int_0^y x^2 dy. \quad (2)$$

Кроме разрывающих усилий t , в дне имеются также горизонтальные усилия, действующие по касательным к кривым параллельных, горизонтальных сечений.

Обозначим величину этих усилий, приходящихся на единицу длины сечения, через s .

Тогда, выделив элемент сферической поверхности, заключающийся, с одной стороны, между двумя смежными меридиональными сечениями, а с другой между двумя параллельными сечениями, расположенными на бесконечно близком расстоянии друг от друга, и полагая радиус кривизны $\rho_2 = \rho_1 = \rho$, на основании ур-ния (1) главы 4, § 1, приведенного в общей теории резервуаров, получим:

$$\frac{t}{\rho} + \frac{s}{\rho} = p,$$

где p — давление воды на выделенный элемент, равное

$$p = \gamma (h-y).$$

Следовательно,

$$t + s = p \cdot \rho = \rho \cdot \gamma [h-y],$$

откуда

$$s = \rho \cdot \gamma [h-y] - t. \quad (3)$$

Подставляя в ур-ние (2) вместо $x = \rho \sin \alpha$, получим:

$$t = \gamma \cdot \rho \cdot \frac{h-y}{2} + \gamma \frac{1}{2\rho \sin^2 \alpha} \int_0^y x^2 dy. \quad (4)$$

Для нижней точки дна, т. е. при $x=0$, $y=0$ и $\rho=\rho_0$, получим по ур-ниям (4) и (3):

$$t = \gamma \cdot \rho_0 \frac{h}{2} \text{ и } s = \gamma \cdot \rho_0 \frac{h}{2}. \quad (5)$$

Следовательно, для нижней точки дна разрывающие усилия, направленные по касательной к меридиональному сечению, равны усилиям, направленным по касательной к параллельным кругам.

Если кривая, по которой образовано сферическое дно, представляет собой окружность круга, то радиус кривизны $\rho=r$ представляет собой постоянную величину, а самое дно шаровую поверхность.

Значение $\sin \alpha$ в этом случае будет равно: $\sin \alpha = \frac{x}{r}$. Подставляя эти значения $\sin \alpha$ и $\rho = r$ в уравнения (3) и (4), получим для шарового дна:

$$t = \gamma r \frac{h-y}{2} + \gamma \frac{r}{2x^2} \int_0^y x^2 \cdot dy \quad (6)$$

$$s = r \gamma (h-y) - t. \quad (7)$$

Так как для круга перпендикуляр из какой-либо точки окружности на диаметр является средним пропорциональным между отрезками диаметра, т. е. $y : x = x : [2r - y]$, то $x^2 = y \cdot (2r - y)$, следовательно,

$$t = \gamma r \frac{h-y}{2} + \gamma \frac{r}{2x^2} \int_0^y (2r - y) dy.$$

Произведя интегрирование, получим:

$$t = \gamma r \frac{h-y}{2} + \gamma \frac{r^2 y^2}{2x^2} - \gamma \frac{r y^3}{6x^2} = \gamma \frac{r}{2} \left[h - \frac{y}{3} \cdot \frac{(3r-2y)}{(2r-y)} \right] \quad (8)$$

$$s = \gamma \frac{r}{2} \left[h - \frac{y}{3} \cdot \frac{(3r-4y)}{(2r-y)} \right].$$

То же самое выражение для t в данном случае, т. е. при шаровой поверхности дна, может быть получено из простых геометрических соображений, а именно: объем воды, падающий на часть дна ниже рассматриваемого сечения, в случае шарового дна будет:

$$\gamma \pi x^2 (h-y) + \frac{1}{3} \pi y^3 (3r-y) \gamma$$

$$2\pi x \cdot t \cdot \sin \alpha = \gamma \pi x^2 (h-y) + \gamma \pi y^3 r - \gamma \frac{\pi y^3}{3};$$

откуда, заменяя $\sin \alpha = \frac{x}{r}$, получим для t вышеприведенное его значение (8).

Заменим в уравнениях (7) и (8) величину $x = r \sin \alpha$ и $y = r (1 - \cos \alpha)$, тогда эти уравнения представятся в следующем виде:

$$t = \gamma r \left[\frac{h-r}{2} + \frac{r}{3 \sin^2 \alpha} (1 - \cos^3 \alpha) \right]$$

$$t = \gamma r \left[\frac{h-r}{2} + \frac{r}{3} \left(\cos \alpha + \frac{1}{1 + \cos \alpha} \right) \right] \quad (9)$$

$$s = \gamma r \left[\frac{h-r}{2} + \frac{r}{3} \left(2 \cos \alpha - \frac{1}{1 + \cos \alpha} \right) \right]. \quad (10)$$

Максимальные значения $t_{\max}$ и $s_{\max}$ будут в пизшей точке дна при $\alpha = 0^\circ$ и $\cos \alpha = 1$ и будут равны:

$$t_{\max} = s_{\max} = \gamma \frac{rh}{2}. \quad (11)$$

Минимальные значения усилий $t_{\min}$ и $s_{\min}$ будут иметь место при $\alpha = 90^\circ$ и $\cos \alpha = 0$, т. е. в крайних точках полушара, и соответственно будут равны:

$$t_{\min} = \gamma \frac{r}{2} \left(h - \frac{r}{3} \right) \quad (12)$$

и

$$s_{\min} = \gamma \frac{r}{2} \left(h - \frac{5}{3} r \right). \quad (13)$$

Последние уравнения определяют те условия, при которых в днище отсутствуют сжимающие напряжения.

Ур-ние (12) показывает, что усилия по касательной к меридиональному кругу будут положительными, т. е. разрывающими, при $h > \frac{r}{3}$.

Из ур-ния (13) видно, что отсутствие сжимающих усилий по касательным к параллельным кругам в днище, очерченном по шаровой поверхности, обеспечивается условием: $h > \frac{5}{3} r$.

В случае днища в виде полушара радиуса r , как то имеет место в резервуарах Баркгаузена при высоте $h = \frac{5}{3} r$, высота цилиндрической части резервуара будет равна $\frac{2}{3} r$.

При этих соотношениях объем цилиндрической части резервуара равен объему полушарового днища, и общий объем резервуара составляет:

$$\frac{2}{3} \pi r^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi r^3,$$

т. е. равен объему шара радиуса r .

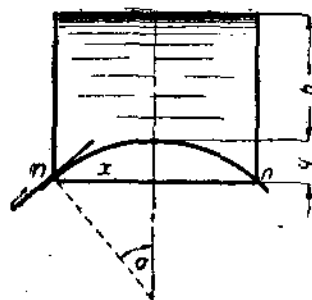
Радиус полушарового днища, а следовательно, и радиус цилиндрической части резервуара, определяется в зависимости от заданного объема по формуле:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = 0,62035 \sqrt[3]{V}. \quad (14)$$

Рассмотрим теперь случай, когда сферическое дно очерчено по шаровой поверхности и обращено выпуклостью внутрь резервуара (фиг. 189). В этом случае давление воды в резервуаре распределяется по выпуклой стороне днища, и стенки последнего испытывают сжатие.

Вес воды, приходящийся на рассматриваемое сечение mn :

$$\gamma \pi x^2 (h + y) - \gamma \frac{1}{3} \pi y^2 (3r - y).$$



Фиг. 189

Усилие t , направленное по касательной к меридиональному сечению в рассматриваемой точке, определяется подобно предыдущему из уравнения:

$$2\pi \cdot x \cdot t \sin \alpha = \gamma \pi \left[x^2 (h + y) - \frac{1}{3} y^2 (3r - y) \right].$$

Подставляя $x = r \sin \alpha$ и $\sin \alpha = \frac{y}{r}$ и вместо $x^2 = y [2r - y]$, будем иметь:

$$t = \gamma \frac{r}{2} \left[h + \frac{y}{2} - \frac{y^2}{6(2r - y)} \right] = \gamma \frac{r}{2} \left[h + \frac{y}{3} \cdot \frac{(3r - 2y)}{(2r - y)} \right].$$

Заменяя $y = r(1 - \cos \alpha)$, получим для t выражение:

$$t = \gamma \frac{r}{2} \left[h + \frac{r(1 - \cos \alpha)}{3} \cdot \frac{(1 + 2 \cos \alpha)}{(1 + \cos \alpha)} \right] = \gamma r \left[\frac{h + r}{2} - \frac{r}{3} \left(\cos \alpha + \frac{1}{1 + \cos \alpha} \right) \right]. \quad (15)$$

Величина s усилий, направленных по касательной к параллельным кругам, определится из уравнения:

$$\frac{t}{r} + \frac{s}{r} = \gamma (h + y) \quad \text{и} \quad s = \gamma r (h + y) - t$$

или

$$s = \gamma \frac{r}{2} \left[h + \frac{y}{3} \cdot \frac{(9r - 4y)}{2r - y} \right],$$

и, заменяя в нем $y = r(1 - \cos \alpha)$, получим:

$$s = \gamma \frac{r}{2} \left[h + \frac{r(1 - \cos \alpha)}{3} \cdot \frac{(5 + 4 \cos \alpha)}{(1 + \cos \alpha)} \right] = \gamma r \left[\frac{h + r}{2} - \frac{r}{3} (2 \cos \alpha - \frac{1}{1 + \cos \alpha}) \right]. \quad (16)$$

Нетрудно видеть из приведенных уравнений, что усилия s всегда больше t . Для высшей точки дна, т. е. при $\alpha = 0$ и $\cos \alpha = 1$, будем иметь:

$$t = s = \gamma \cdot \frac{r h}{2}. \quad (17)$$

При $\alpha = 90^\circ$ и $\cos \alpha = 0$:

$$t = \gamma \cdot \frac{r}{2} \left(h + \frac{r}{3} \right) \quad (18)$$

и

$$s = \gamma \frac{r}{2} \left(h + \frac{5}{3} r \right). \quad (19)$$

Необходимая толщина железа днища в каждом случае определяется по формулам:

$$\delta = \frac{t_{\max}}{K} \quad (20)$$

или

$$\delta = \frac{s_{\max}}{K}. \quad (21)$$

Из значений δ , получаемых по этим формулам, берется большее и к нему прибавляется 1—2 мм на ржавление.

Напряжение K , вводимое в формулы, равно $K = \varphi \cdot K_0$, где φ — коэффициент полезного действия швов, а K_0 — допускаемое напряжение металла в швах.

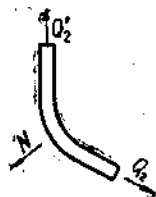
Определим теперь усилия, возникающие в месте сопряжения шаровой поверхности дна с цилиндрической поверхностью стенок. В месте сопряжения дна со стенками меридиональное сечение поверхности дна имеет

излом, и радиус кривизны ρ_2 при этом обращается в нуль, вследствие чего ур-ние (1), гл. 4, § 1 примет вид:

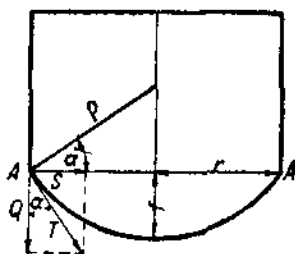
$$\frac{Q_1}{\rho_1} + \frac{Q_2}{0} = p,$$

где $Q_1 = K_1 \delta$ и $Q_2 = K_2 \delta$ — усилия в соответствующих сечениях.

Если Q_2 при этом не обращается в нуль, то $Q_1 = \infty$. Это положение указывает на то, что для сохранения равновесия в рассматриваемом месте должны быть приложены некоторые усилия N ; в противном случае в этом месте получатся деформации и изгиб стенки (фиг. 190).



Фиг. 190



Фиг. 191

Во избежание указанных деформаций место сопряжения дна со стенкой укрепляется в резервуарах особым кольцом, способным воспринять падающие на него усилия и воспрепятствовать деформациям.

Расчет опорного кольца производится по нижеследующим формулам, выведенным в предположении отсутствия изгиба кольца и что стенки резервуара работают

лишь на растяжение, что в большинстве случаев и имеет место на практике.

Диаметр цилиндрической части резервуара — $2r$, радиус шаровой поверхности дна — ρ , стрелка дна — f (фиг. 191).

Между величинами r , ρ и f существует, как известно, следующая зависимость:

$$\rho = \frac{r^2 + f^2}{2f}.$$

Обозначим далее вес всей воды в резервуаре и вес самого днища резервуара через Q .

Составляющая всей силы Q , сжимающая кольцо AA резервуара, равна:

$$S = Q \cdot \operatorname{tg} \alpha = Q \frac{r-f}{r}. \quad (22)$$

Подставляя вместо ρ его величину, выраженную через r и f , получим:

$$S = \frac{Q}{2} \left(\frac{r}{f} - \frac{f}{r} \right). \quad (23)$$

Составляющая силы Q , отрывающая днище, равна

$$T = Q \frac{1}{\cos \alpha} = Q \frac{\rho}{r}$$

или

$$T = \frac{Q}{2} \left(\frac{r}{f} + \frac{f}{r} \right). \quad (24)$$

Величину сжимающего усилия кольца, приходящегося на 1 пог. единицу длины кольца, обозначим через S_1 ; тогда

$$S_1 = \frac{S}{2\pi r}.$$

Для определения усилия сжатия кольца рассечем его по диаметру и рассмотрим равновесие одной половины (фиг. 192).

На каждый элемент кольца, соответствующий углу $d\varphi$, действует усилие

$$S_1 \cdot r \cdot d\varphi.$$

Вертикальная слагающая этого усилия равна

$$S_1 \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi.$$

Сумма вертикальных слагающих элементарных сжимающих усилий равна силе сжатия кольца, заменяющей действие нижней части кольца на верхнюю:

$$2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} S_1 \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi = 2P,$$

откуда

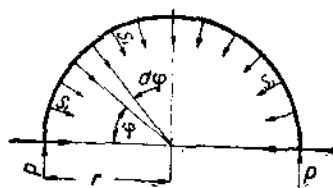
$$P = S_1 r.$$

Подставляя вместо S_1 его выражение через S , получим:

$$P = \frac{S}{2\pi}$$

или

$$P = \frac{Q}{4\pi} \left(\frac{r}{f} - \frac{f}{r} \right). \quad (25)$$



Фиг. 192

Если обозначим давление на 1 кв. единицу поверхности через p , то

$$Q = p \cdot \pi r^2$$

$$P = \frac{pr^2}{4} \left(\frac{r}{f} - \frac{f}{r} \right) \quad (26)$$

для случая давления одинаковой интенсивности по всей поверхности.

Необходимая полезная площадь сечения кольца определяется по формуле:

$$\omega_{netto} = P : K, \quad (27)$$

где K — допускаемое напряжение на сжатие металла в кольце. Полная площадь сечения кольца ω_{brutto} получается соответствующей прибавкой к ω_{netto} площади сечения заклепочных отверстий:

$$\omega_{brutto} = \omega_{netto} + \omega_{сеч\ закл\ отв.}$$

В резервуарах с днищами в виде полушара (Баркгаузена) горизонтальная составляющая S , сжимающая кольцо, равна нулю, так как угол $\alpha = 0$, поэтому дно может быть прямо непосредственно склепано с корпусом резервуара без усиления места сопряжения добавочными вставками.

в) Пример расчета резервуара с сферическим дном. Емкость резервуара 1000 м^3 (фиг. 186 и 187). Диаметр $D = 14300 \text{ мм}$, высота $H = 5540 \text{ мм}$. Стрелка сферического дна резервуара $f = 3000 \text{ мм}$.

По этим размерам радиус сферического днища определяется величиной:

$$R = \frac{R^2 + f^2}{2f} = \frac{7150^2 + 3000^2}{2 \times 3000} = 10\,020 \text{ мм.}$$

Вес воды резервуара	—	1 000 000 кг
» резервуара: цилиндрической части	19 300 кг	} 45 800 »
сферического дна	21 000 »	
опорной части	5 500 »	
Итого	1 045 800 кг	

Определяем необходимую толщину железа стенок и дна резервуара. I пояс. Расчетная высота шва $H = 554 \text{ см}$; усилие на 1 пог. см шва $P = 554 \cdot 715 \cdot 0,001 = 397 \text{ кг}$; вертикальные швы двухрядные внахлестку, к. п. д. которых φ принимаем для расчета равным 0,75.

Необходимая толщина металла пояса

$$\delta = \frac{397}{1200 \cdot 0,75} = 0,45 \text{ см.}$$

Принимаем толщину железа, учитывая прибавку на ржавление, равной 0,8 см; диаметр заклепок $d = 16,5 \text{ мм}$, $d_0 = 17 \text{ мм}$; площадь заклепок $\omega = 2,27 \text{ см}^2$; шаг заклепок по ф-ле (ур-ние (А), § 3, гл. 4) $t = \frac{\pi \cdot \delta \cdot \varphi}{K \cdot \delta} + d_0 = \frac{2 \cdot 2,27 \cdot 840}{1200 \cdot 0,8} + 1,7 = 5,7 \text{ см}$; шаг принят, исходя из ширины листов $t = 64,6 \text{ мм}^1$.

$$\varphi = \frac{64,6 - 17}{64,6} = 0,73$$

и действительное напряжение металла в швах I пояса

$$K_s = \frac{397}{0,8 \cdot 0,73} = 680 \text{ кг/см}^2.$$

$$\text{Напряжение в заклепках } K_z = \frac{397 \cdot 6,46}{2 \cdot 2,27} = 570 \text{ кг/см}^2.$$

II пояс. Расчетная высота пояса $H_2 = 432 \text{ см}$; усилие на 1 пог. см шва $P = 432 \cdot 715 \cdot 0,001 = 309 \text{ кг}$; вертикальные швы — такого же типа.

Необходимая толщина металла пояса $\delta = \frac{309}{900} = 0,35 \text{ см}$; принято $\delta = 0,64 \text{ см}$.

Заклепки $d = 13,5 \text{ мм}$, $d_0 = 14 \text{ мм}$, $\omega = 1,54 \text{ см}^2$; шаг заклепок теоретический $t = \frac{2 \cdot 1,54 \cdot 840}{1200 \cdot 0,64} + 1,4 = 4,8 \text{ см}$; шаг принят $t = 56 \text{ мм}$.

Коэффициент полезного действия шва $\varphi = \frac{56 - 14}{56} = \frac{42}{56} = 0,75$ и действительное напряжение металла в шве

$$K_s = \frac{309}{0,64 \cdot 0,75} = 645 \text{ кг/см}^2.$$

$$\text{Напряжение в заклепках } K_z = \frac{309 \cdot 5,6}{2 \cdot 1,54} = 560 \text{ кг/см}^2.$$

¹ Ввиду неполного напряжения в железе и заклепках указанным практически отсутствием от теоретического значения шага вполне допустимы.

III пояс. Расчетная высота шва $H_s = 310$ см; усилие на 1 пог. см шва $P = 310 \cdot 715 \cdot 0,001 = 222$ кг; вертикальные швы — аналогичного типа.

Необходимая толщина металла пояса $\delta = \frac{222}{900} = 0,25$ см, принято $\delta = 0,48$ см; заклепки $d = 13,5$ мм, $d_0 = 14$ мм; $\omega = 1,54$ см²; $t = 56$ мм и $\varphi = 0,75$.

$$K_s = \frac{222}{0,48 \cdot 0,75} = 620 \text{ кг/см}^2;$$

$$K_z = \frac{222 \cdot 5,6}{2 \cdot 1,54} = 405 \text{ кг/см}^2.$$

Остальные пояса имеют такую же толщину и напряжение материала в них меньше.

Сферическое днище. Радиус сферы $r = 10\,020$ мм. Наибольшие усилия как по меридиональным, так и по параллельным кругам имеют место в нижней точке дна и равны:

$$P = H \cdot 0,5 \rho \gamma,$$

где H — расчетная высота налива;

$$H = 554 + 300 = 854 \text{ см}$$

и

$$P = 854 \cdot 501 \cdot 0,001 = 430 \text{ кг.}$$

Швы однорядные внахлестку, к. п. д. их принят для расчета

$$\varphi = 0,5.$$

Необходимая толщина железа днища:

$$\delta = \frac{430}{1200 \cdot 0,5} = 0,72 \text{ см.}$$

Исходя из соображений ржавления, принимаем толщину железа днища $\delta = 10$ мм.

Диаметр заклепок $d = 19$ мм, $d_0 = 20$ мм, $\omega = 3,14$ см².

Шаг заклепок принят $t = 50,5$ мм (с учетом размера листов).

Коэффициент полезного действия швов

$$\varphi = \frac{50,5 - 20}{50,5} = 0,6;$$

действительное наибольшее напряжение металла в швах

$$K_s = \frac{430}{1 \cdot 0,6} = 717 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение металла в заклепках:

$$K_z = \frac{430 \cdot 5,05}{3,14} = 692 \text{ кг/см}^2.$$

Опорное кольцо резервуара испытывает сжимающее усилие, величина которого определяется по ф-ле (25):

$$P = \frac{Q}{4\pi} \left(\frac{r}{f} - \frac{f}{r} \right).$$

Здесь $Q = 1021 \text{ т}$ (вес воды и вес дна), $r = 715 \text{ см}$, $f = 300 \text{ см}$, следовательно,

$$P = \frac{1021}{4 \cdot 3,14} \left(\frac{7,15}{3} - \frac{3}{7,15} \right) = 160 \text{ т}.$$

Сечение материала кольца, участвующего в сопротивлении сжатию, принято (фиг. 193):

три угольника	100-100-16	29,6-3	= 89 см ²
часть листа днища	400-10	40-1	= 40 »
» » опоры подставки	200-10	20-1	= 20 »
» » стенки	200-8	20-0,8	= 16 »
		Итого . . .	165 см ²

Напряжение кольца на сжатие:

$$K = 160\,000 : 165 = 970 \text{ кг/см}^2.$$

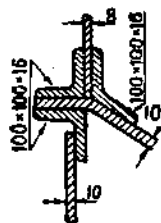
Усилие, отрывающее днище, определяется по ф-ле (24):

$$T = \frac{Q}{2} \left(\frac{r}{f} + \frac{f}{r} \right);$$

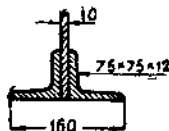
$$T = \frac{1021}{2} \left[\frac{7,15}{3} + \frac{3}{7,15} \right] = \frac{1021 \cdot 2,8}{2} = 1430 \text{ т},$$

и напряжение металла на разрыв по кругу радиуса $r = 715 \text{ см}$

$$K = 1\,430\,000 : \pi \cdot 1430 \cdot 1 = 320 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 193



Фиг. 194

По заклепкам, учитывая площадь ослабления коэффициентом 0,6,

$$K = 535 \text{ кг/см}^2.$$

Усилие, срезающее днище, у опорного кольца $Q = 1021 \text{ т}$.

Напряжение на срез $K = 1\,021\,000 : \pi \cdot 1430 \cdot 1 = 230 \text{ кг/см}^2$.

Опорная цилиндрическая подставка резервуара заканчивается в месте прилегания к кладке фундамента двумя угольниками сечением $75 \times 75 \times 12 \text{ мм}$ (фиг. 194).

Общее давление на кладку составляет $1\,045\,800 \text{ кг}$.

Площадь прилегания опорной подставки к кладке фундамента равна:

$$\pi \cdot 1430 \cdot 16 = 72\,000 \text{ см}^2.$$

Давление от резервуара на бетонную кладку равно:

$$K = 1\,045\,800 : 72\,000 = 14,5 \text{ кг/см}^2.$$

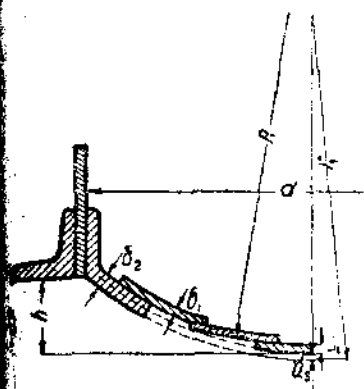
г) Расчет геометрических элементов сферы. Расчет и разбивка элементов сферических поверхностей представляет собой довольно сложную работу, и для того чтобы дать ясное представление об этом, ниже приводится способ этого расчета, причем изложение его разбито на две части:

- 1) аналитический расчет элементов сферических поверхностей и
- 2) разбивка и разметка элементов сферы.

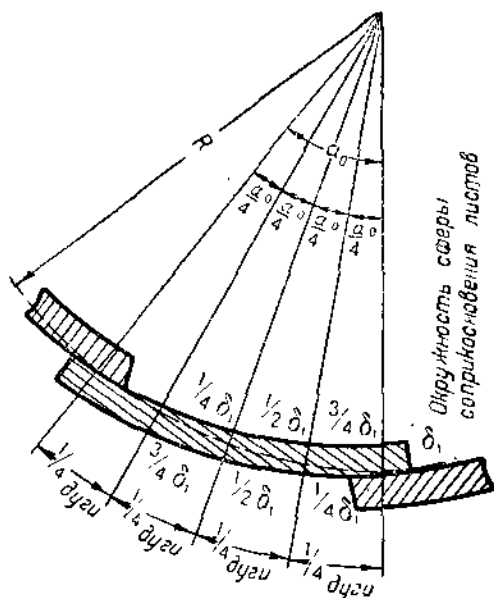
Аналитический расчет. а) Допустим, у нас имеется резервуар со сферическим днищем. Данными его будут следующие величины: внутренний диаметр d , толщина листов дна δ_1 и стрелка h дна, измеряемая от основания цилиндрической части до касательной к сфере в нижней точке дна (фиг. 195). Толщина уголка дна δ_2 .

По этим данным, в зависимости от конструкции перекрытий вводов, определяем теоретический радиус сферы дна:

$$r_1 = \frac{\frac{d^2}{4} + (h + \delta_2)^2}{2(h + \delta_2)}$$



Фиг. 195



Фиг. 196

где δ_2 — избыток толщины уголка дна над центральным листом дна. Расчет ведем по внутренней поверхности листов. Радиус сферы соприкосновения листов будет $R = r_1 - \delta_2$.

Затем, задаваясь, примерно, величиной листов, диаметром заклепок и перекрышей, определяем центральные углы α_0 по сфере соприкосновения листов, соответствующие каждому полюсу дна.

б) В дальнейшем элементарный расчет ведется в предположении следующих допущений:

- 1) листы набегающие считаются выгнутыми по сфере, радиус которой равен радиусу сферы соприкосновения листов;
- 2) положение набегающих листов в пространстве определяется поворотом меридионального сечения листа около точки прикосновения к предыдущему поясу на угол, обуславливающий расположение точек соприкосновения листов на окружности большого круга и ступенчатость швов;
- 3) допускаем, что теоретическая линия окружности большого круга

сферы соприкосновения листов делит толщину листа в его меридиональном сечении на части, пропорциональные длине дуги большого круга сечения между точками касания к листам смежных поясов. Например в первой точке касания 0 и δ_1 , на расстоянии $\frac{1}{4}$ длины дуги от первой точки касания $\frac{1}{4}\delta_1$ и $\frac{3}{4}\delta_1$; на $\frac{1}{2}$ длины дуги $\frac{1}{2}\delta_1$ и $\frac{1}{2}\delta_1$ и т. д.; во второй точке касания δ_1 и 0 (фиг. 196).

Возможность вышеприведенных допущений оправдывается незначительностью вызываемых ими погрешностей, особенно при больших радиусах сфер соприкосновения листов R и малой толщине их δ_1 .

γ) Расчет шаблонов листов первого пояса днаща, считая от вертикальных стенок пояса. Листы первого пояса днаща — концентрические.

Обычно листы первого пояса имеют наружные перекрытия с обеих сторон, с одной накрываются опорным уголком, а с другой — листом соседнего пояса (для стока). Поэтому лист является элементом сферы, концентрической со сферой соприкосновения листов, и радиус ее $R_1 = R - \delta_1$.

Расчет ведем в следующей последовательности: делим известный нам центральный угол, соответствующий поясу в его плоском меридиональном сечении, на равные части (чем их больше, тем точнее расчет), например на четыре части; следовательно, и дуга делится на четыре части (фиг. 197). Соединяем точки деления дуги с центром окружности и определяем углы между вертикалью, проходящей через центр окружности o , и выше найденными радиусами oa , ob , oc , od и oe .

Назовем эти углы через α_1 , α_2 , α_3 , α_4 и α_5 и найдем их синусы и косинусы. Зная R_1 и синусы углов, найдем радиусы параллелей, соответствующие точкам деления an , bm , cp , dq и er , по формулам:

$$\rho_1 = R_1 \sin \alpha_1$$

и т. д.

Проводим через точки a и e прямую до пересечения с вертикалью в точке s .

Угол nas назовем через Q и найдем его синус, косинус и тангенс.

Соединим еще точки b , c , d и e с точкой s и назовем отрезки $as = r_1$, $bs = r_2$, $cs = r_3$, $ds = r_4$ и $es = r_5$, а отрезки $ns = h_1$, $ms = h_2$, $ps = h_3$, $qs = h_4$ и $rs = h_5$. Кроме того, обозначим отрезки $oa = b_1'$, $ob = b_2'$, $oc = b_3'$, $od = b_4'$ и $oe = b_5'$.

Тогда будем иметь:

$$h_1 = an \cdot \lg Q; b_1' = R_1 \cos \alpha_1 \text{ и } os = b_1' + h_1 = H;$$

отсюда

$$h_2 = H - b_2'; h_3 = H - b_3'; h_4 = H - b_4'; h_5 = H - b_5'$$

и т. д. в зависимости от числа точек.

Величины r_i определятся по формуле:

$$r_i = \sqrt{\rho_i^2 + h_i^2}.$$

Зная число листов n в поясе, находим центральный угол в плоскости параллельного сечения, соответствующий одному листу $360^\circ : n = \beta_1$.

Каждой расчетной точке листа a, b, c, d и e соответствует свой радиус параллели, найденный выше.

По этому радиусу ρ_i и центральному углу β_i находим соответствующие листу полу хорды и хорды в пространстве по формулам:

$$\frac{\lambda_i}{2} = \rho_i \sin \frac{\beta_i}{2} \text{ и хорды } \lambda_i = 2\rho_i \sin \frac{\beta_i}{2}.$$

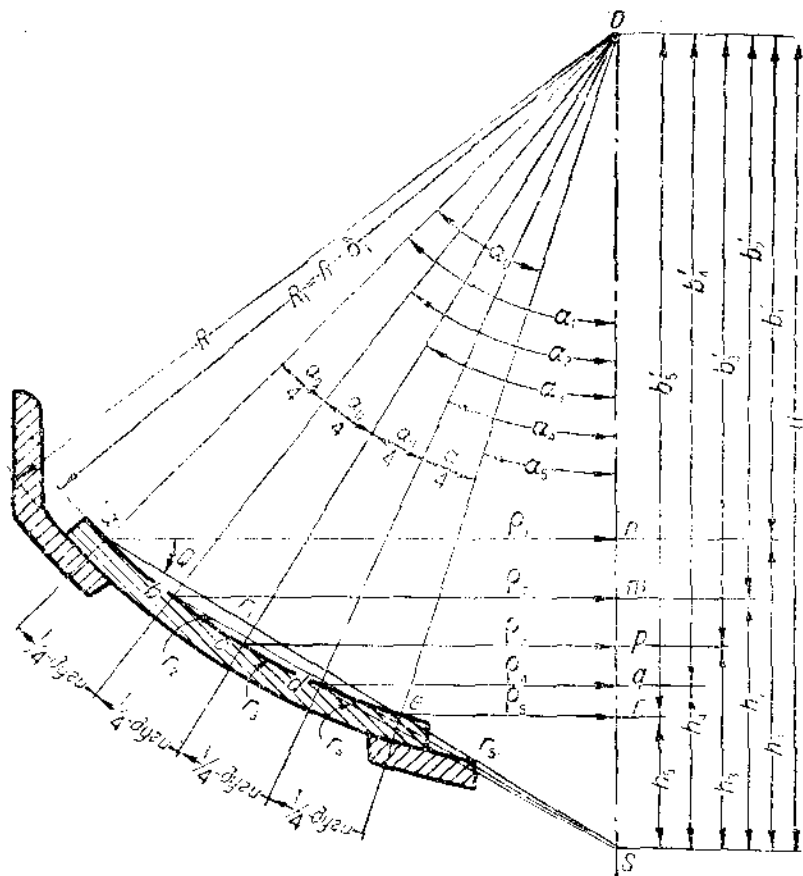


Рис. 197

Соответствующие длины дуг параллелей найдутся по формуле:

$$l_i = \frac{2\pi\rho_i}{n}.$$

По найденным выше полу хордам $\frac{\lambda_i}{2}$ находим соответствующим им в сфере листу центральные углы γ_i по формуле:

$$\frac{\lambda_i}{2} = R_1 \cdot \sin \frac{\gamma_i}{2} \text{ и } \sin \frac{\gamma_i}{2} = \frac{\lambda_i}{2R_1}.$$

По найденным углам определяем длины дуг большого круга сферы

внутренней поверхности листа (концентрической со сферой соприкосновения листов) по формулам:

$$L_i = \frac{\pi R_1 \gamma_i}{180}.$$

Проведем плоскости параллельных сечений и плоскости большого круга, заключающие в себе хорды λ_i .

На внутренней поверхности листа эти плоскости дадут следы: одна — в виде дуги параллели, а другая — в виде дуги большого круга сферы дна.

Расстояние между этими дугами, взятое в меридиональном сечении по дуге большого круга, будет стрелкой, а для ее определения пользуемся формулами:

$$C_i = \sqrt{\rho_i^2 - \frac{\lambda_i^2}{4}}; \operatorname{tg} \varphi_i = \frac{C_i}{\rho_i}; \quad \varphi_i = \alpha_i - \varphi_1$$

и стрелка

$$H_i' = \frac{t_i}{180} \pi R_1 \quad (\text{фиг. 198}).$$

По вышеприведенным величинам производим разбивку и разметку листов, как о том будет сказано далее.

б) Расчет шаблонов листов следующих: второго, третьего и т. д. поясов.

Листы в этих поясах набегающие — смещенные.

Расчет ведется аналогично предыдущему, принимая во внимание изменение радиуса в зависимости от взятой промежуточной точки. Попрежнему делим дугу окружности соприкосновения на равные части и находим соответствующие радиусы параллелей.

Строительные же радиусы, соответствующие точкам a, b, c, d и e на внутренней поверхности смещенного листа, найдутся из соотношений:

$$\rho_1 = R - \frac{\delta_1}{4}; \quad \rho_2 = \frac{R - \frac{\delta_1}{4}}{R} \rho_1'; \quad \rho_3 = \frac{R - \frac{\delta_1}{2}}{R} \rho_1'; \quad \rho_4 = \frac{R - \frac{3}{4} \delta_1}{R} \rho_1' \quad \text{и} \quad \rho_5 = \frac{R - \delta_1}{R} \rho_1'$$

(фиг. 199). Аналогично предыдущему проведем через центр сферы o вертикаль os и прямую as , проходящую через точки a и e . Назовем $as = r_1$ и $ae = x$. Из треугольника aof найдем af , а из треугольника aef , зная af и cf , равную, приблизительно δ_1 , найдем x и угол eaf .

Из равнобедренного треугольника aof найдем угол oaf . Из прямоугольного треугольника nao найдем угол oan , тогда получим угол $nae = Q$.

Угол $Q = \angle oaf - \angle oan - \angle eaf$.

Найдем синус, косинус и тангенс угла Q .

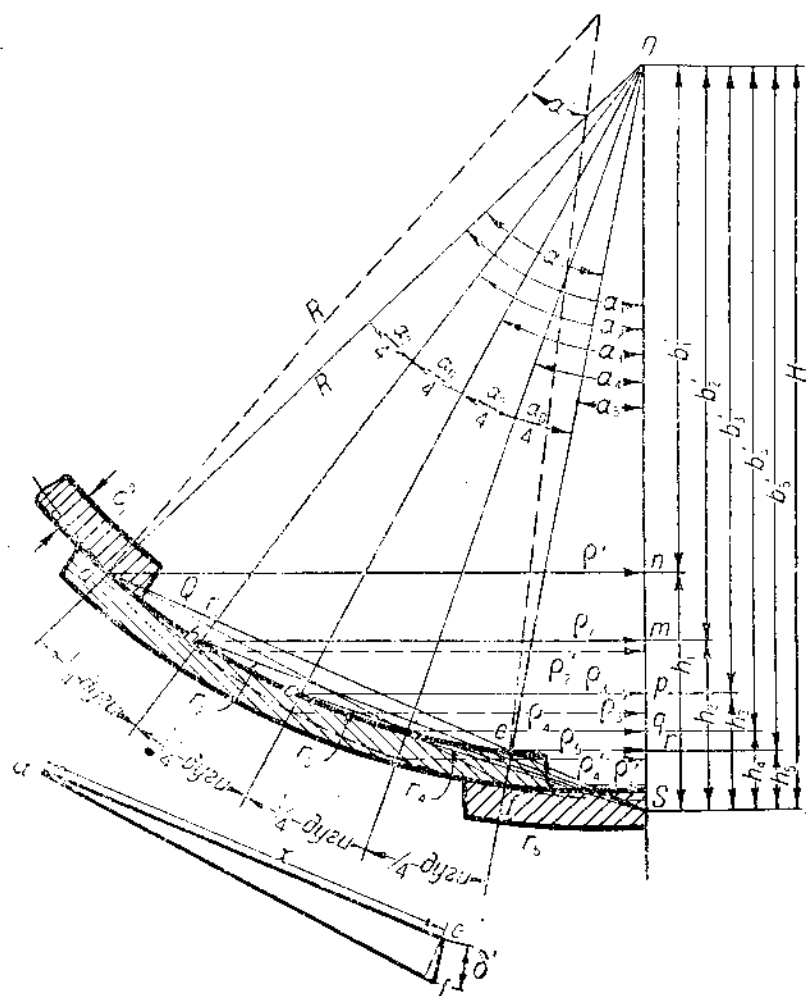
По предыдущему:

$$h_1 = an \cdot \operatorname{tg} Q; \quad b_1' = R \cos \alpha_1; \quad b_2' = \left(R - \frac{\delta_1}{4}\right) \cos \alpha_1; \quad b_3' = \left(R - \frac{\delta_1}{2}\right) \cos \alpha_1; \\ b_4' = \left(R - \frac{3}{4} \delta_1\right) \cos \alpha_1 \quad \text{и} \quad b_5' = (R - \delta_1) \cos \alpha_1; \\ os = b_1' + h_1 = H,$$

тогда по предыдущему

$$h_2 = H - b_2'; \quad h_3 = H - b_3'; \quad h_4 = H - b_4'; \quad h_5 = H - b_5'.$$

Величины r_i найдутся по формуле $r_i = \sqrt{\rho_i^2 + h_i^2}$.



Фиг. 199

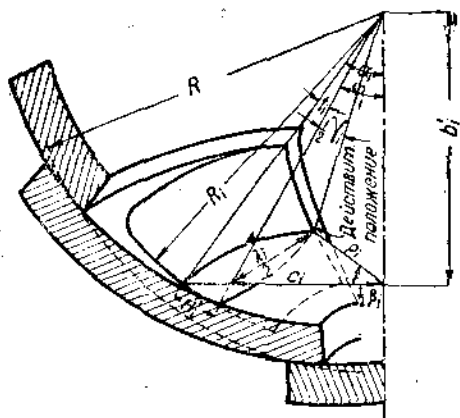
В дальнейшем расчет ведется вполне тождественно с расчетом концентрических листов I пояса, принимая, однако, во внимание, что во всех формулах величина R изменяется на $(R - \frac{1}{4}\delta_1)$; $(R - \frac{1}{2}\delta_1)$ и т. д. в зависимости от точек a, b, c, d , к которым относится определяемый элемент, как то: хорды, дуги, стрелки, центральные углы в концентрических сферах и пр.

Для иллюстрации вычисления стрелок H_i' приведен чертеж (фиг. 200).

Законоц определяем длину дуги меридионального сечения, для чего находим центральный угол γ_i по формуле $\sin \frac{\gamma_i}{2} = \frac{r_i}{2R_i}$ и дуга $L_i = \frac{\gamma_i}{180} \pi \cdot R_i$. Разбивка числа делений для заклепок производится путем деления длины дуг на выбранное заданное число (в зависимости от диаметра и шага заклепок) равных частей.

Ввиду сложности аналитического расчета шаблонов сфер рекомендуется пользоваться графическим методом вычерчивания в $\frac{1}{4}$ или $\frac{1}{2}$ натуральной величины меридионального сечения сферы. Числа, взятые с чертежа, будут практически вполне удовлетворительными, так как ошибка чертежа не превышает практических ошибок при выполнении гибки и выбивки листов, а также сборки и клепки сферы.

Разбивка и разметка листов. а) Аналитический расчет элементов сферы дает следующие величины: 1) радиус сферы соприкосновения листов R ; 2) длины образующих конических поверхностей с общей вершиной в точке s , основаниями которых служат круги параллельных сечений сферы; назовем их через $r_1; r_2; r_3; r_4; \dots r_n$, причем $r_1 > r_2 > r_3 > \dots r_n$; 3) радиусы параллелей ρ_i ; 4) хорды, лежащие в плоскости кругов параллелей λ_i ; 5) длины дуг параллелей l_i , соответствующие хордам λ_i ; 6) длины дуг большого круга сферы L_i , соответствующие хордам λ_i ; 7) стрелки H'_i по дуге большого круга в среднем сечении листа между дугой параллели и дугой большого круга;



Фиг. 200

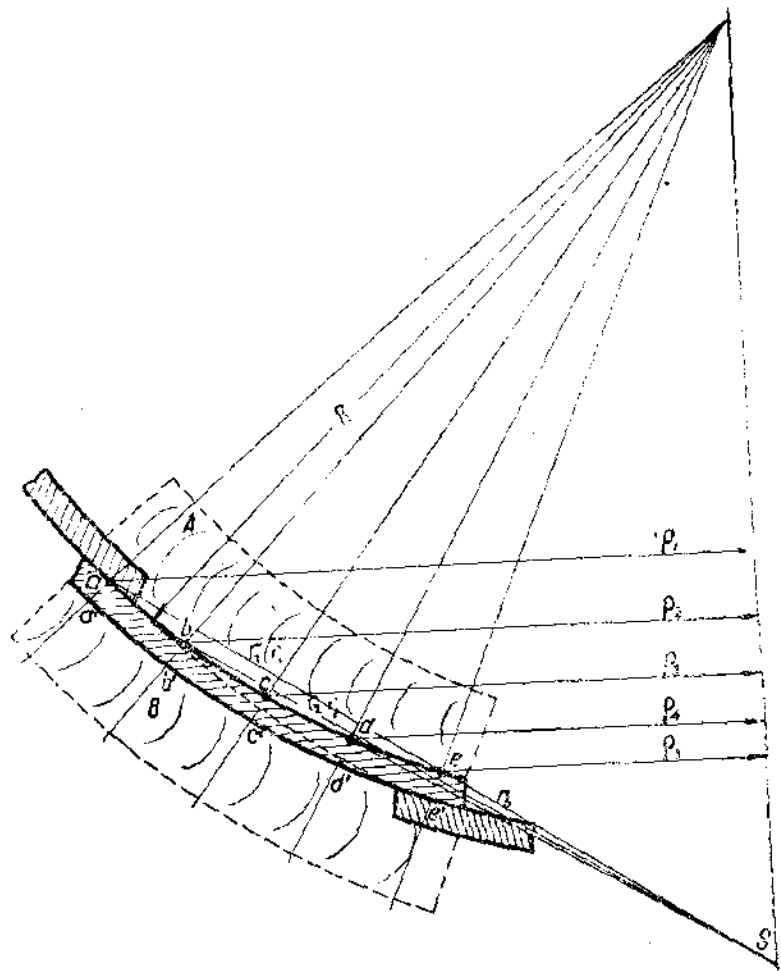
8) длины дуги меридионального сечения L_0 (фиг. 201 и 202).

Все эти величины должны быть отложены и намечены на выбитом предварительно листе.

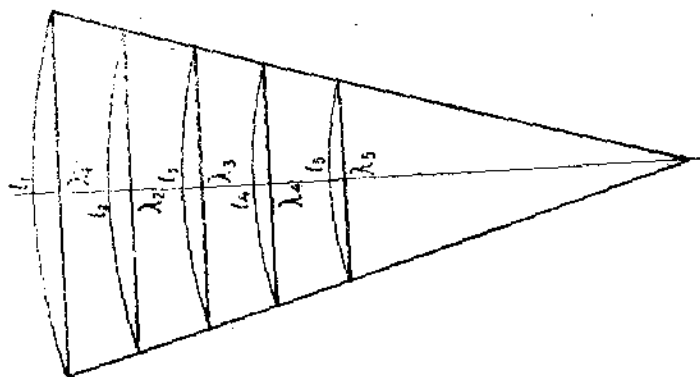
б) Выкройка листов. Плоский лист соответственных размеров (размеры листов назначаются по предварительному эскизу при выписке железа) кладется на горизонтальную плоскость утрамбованной земли или еще лучше досчатого настила. Лист делится на указанное в эскизе число частей, из которых каждая служит для образования элемента сферы поясного листа.

Выделенная часть после этого размечается следующим образом: проводим ось листа и откладываем на ней длину дуги меридионального сечения L_0 (ab), увеличенную на длину малой стрелки H'_n ; к концам ее восстанавливаем перпендикуляры в обе стороны и на них откладываем длины дуг больших кругов L_1 (cd) и L_n (ef) (фиг. 203).

Делим длину L_0 (ab) на n равных частей (сколько принято при расчете). В точках деления проводим перпендикуляры и на них откладываем длины дуг больших кругов L_i в порядке нумерации, т. е. от L_1 до L_n . Все помеченные точки соединяем между собой прямыми, отбитыми мелком или прочерченными на поверхности листа. Отступая от прочерченных линий не менее чем на двойную перекрышку (и больше, как позволит



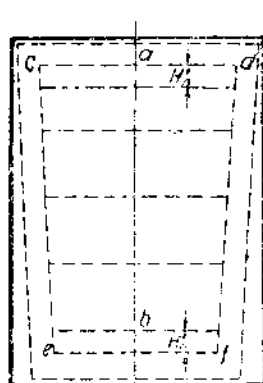
Фиг. 201



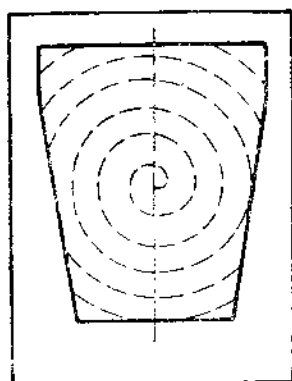
Фиг. 202

лист), чертим линии, параллельные вышенайденным, и по ним вырезаем элемент.

Настоятельно рекомендуется для каждого пояса сначала вырезать, выбить и разметить только один лист, который затем тщательно сверить с шаблоном и тогда только, убедившись в правильности, начинать массовую обрезку и выбивку листов.



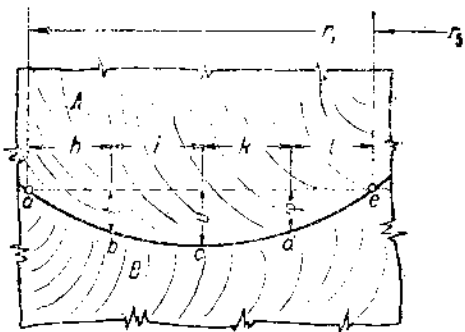
Фиг. 203



Фиг. 204

7) Выбивка листов. Выбивка листов холодным способом может быть произведена следующим образом. Приготавливается из дерева шаблон, соответствующий сферическому сегменту меридионального сечения листа. Затем выбирается ровное место с твердым грунтом и там выкапывается углубление, имеющее в плане очертание листовой выкройки. Стенки углубления проверяются деревянным шаблоном. Когда углубление готово, его покрывают листовой вырезкой, на которой намечена мелом, начиная, приблизительно, из центра, спираль (фиг. 204). Затем бьют по листу деревянными кувалдами; идя по спирали и следя за правильно образующейся выкруткой, равняют по шаблону углубление в земле, в которое должен плотно вжаться лист. Выбивку ведут до тех пор, пока прикладываемый к листу поверочный шаблон не будет отлично прилегать во всех точках и по всем направлениям. Выбивка остальных листов производится уже над углублением, стенками которого служит лист, выбитый непосредственно в земле.

8) Разметка листов. Приступая к разметке листа, надлежит изготовить деревянные шаблоны по числовым величинам, взятым из расчета. Сначала изготавливается часть А (фиг. 201 и 205), а по ней вырезается часть В, на которой тщательно отмечаются расчетные точки а, б, с, d и е. Выбитый лист кладется выпуклостью наружу на горизонтальный досчатый настил. Затем намечается ось листа АВ (фиг. 206). Радиусом r_1 прочерчиваем дугу параллели aa и радиусом r_2 — дугу ee . Затем проверяем величину L_0 меридионального сечения и длины дуг aa и ee , как по параллелям, так и по большим кругам. Проверяем также пространственные хорды aa и ee . При правильно выбитом и верно положенном листе все промеренные



Фиг. 205

всех точках и по всем направлениям. Выбивка остальных листов производится уже над углублением, стенками которого служит лист, выбитый непосредственно в земле.

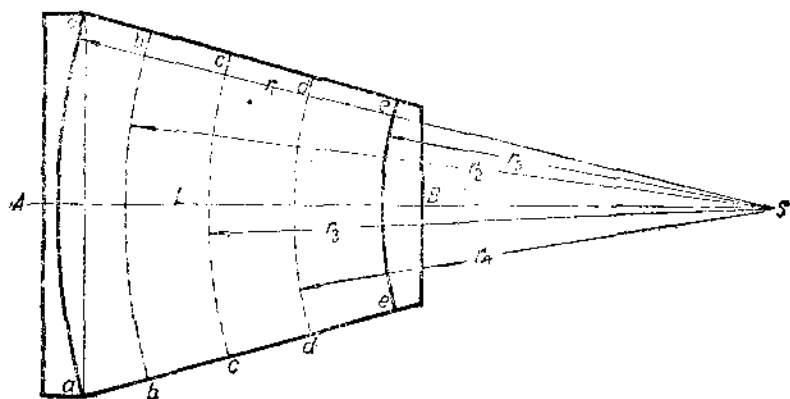
8) Разметка листов. Приступая к разметке листа, надлежит изготовить деревянные шаблоны по числовым величинам, взятым из расчета. Сначала изготавливается часть А (фиг. 201 и 205), а по ней вырезается часть В, на которой тщательно отмечаются расчетные точки а, б, с, d и е. Выбитый лист кладется выпуклостью наружу на горизонтальный досчатый настил. Затем намечается ось листа АВ (фиг. 206).

Радиусом r_1 прочерчиваем дугу параллели aa и радиусом r_2 — дугу ee . Затем проверяем величину L_0 меридионального сечения и длины дуг aa и ee , как по параллелям, так и по большим кругам.

Проверяем также пространственные хорды aa и ee .

При правильно выбитом и верно положенном листе все промеренные

величины должны точно соответствовать данным в расчете. Крайние точки aa и ee соединяем прямыми, которые должны пересекаться на оси AB в одной точке. Затем берем часть B деревянного шаблона и прикладываем ее к листу по линиям ae и AB , т. е. в крайнем и средних сечениях, и намечаем на листе точки b , c , d и проверяем нижние точки e . Через эти точки прочерчиваем дуги радиусами r_2, r_3, r_{n-1} из одного центра S . Измеренные длины дуг должны в точности совпадать с расчетными.



Фиг. 206

Дуги параллелей aa , ee , а также дуги больших кругов ae и ae служат линиями расположения заклепок, которые разбиваются обычным путем.

Размеченный и пробитый первый лист должен служить шаблоном листом рассматриваемого пояса. Остальные листы намечаются этим шаблоном листом, для чего последний вкладывается внутрь выбитых листов.

От намеченных линий заклепок надлежит отступить на величину половины перекрышки (данной в эскизе) и прочертить параллельно линиям заклепок линии кромок, по которым аккуратно и обрезать лист, после чего он приобретает окончательную форму.

Конические днища

Устройство дна в виде конуса в изготовлении легче сферы, и в этом отношении коническое днище имеет преимущество перед сферическим.

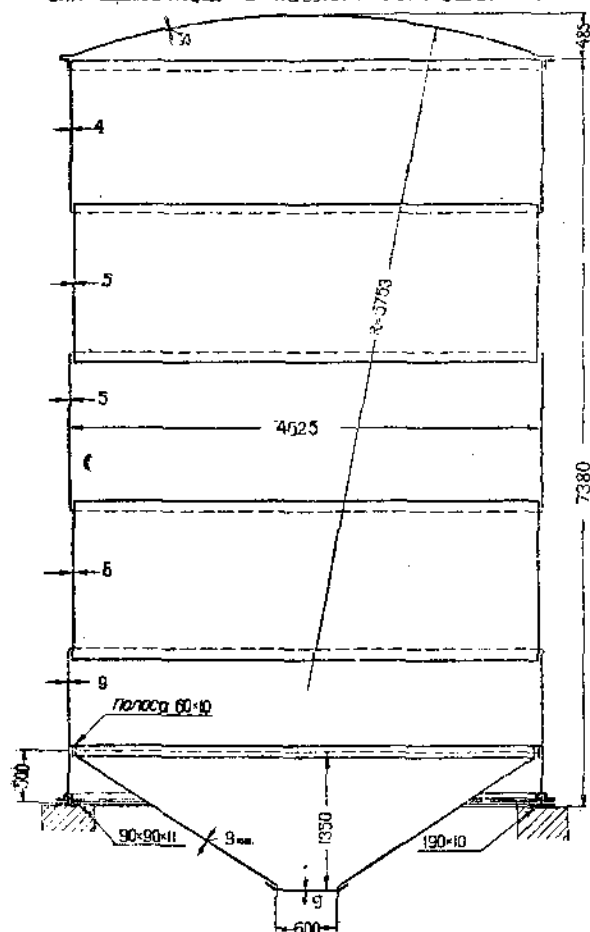
На фиг. 207 показан резервуар, предназначенный для специальной цели, а именно для использования его в качестве щелочных и кислотных мешалок для нефтеперегонных заводов, поэтому толщина его стенок в нижней части принята большей сравнительно с той толщиной, какая была бы необходима для водного резервуара.

В водных резервуарах с коническим дном, располагаемых на специальных опорах, нижнюю часть конического дна резервуара в некоторых случаях не оставляют свободной, а опирают на центральный стояк трубу значительного диаметра, и коническое дно имеет, таким образом, опору в нижней своей точке.

а) Конструкция днища. Коническое дно просто по конструкции, шаблонировка его не представляет никаких затруднений, так как коническая поверхность может быть развернута на плоскость.

Швы листов днища располагаются по образующим конуса, а в больших днищах также и по параллельным кругам. Опорное кольцо днища, или, вернее, место сопряжения конической поверхности дна с цилиндрической

Резервуар
для щелочных и кислотных мешалок.



Фиг. 207

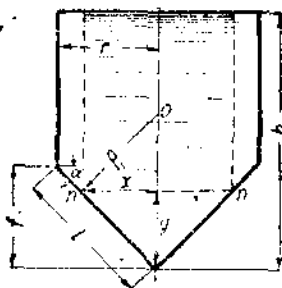
частью резервуара подобно по конструкции аналогичному сопряжению сферического дна с цилиндрической поверхностью резервуара и в конструктивном отношении не представляет каких-либо особенностей, поэтому на описании его не останавливаемся.

б) Расчет конического днища. При коническом дне один из радиусов кривизны конической поверхности обращается в бесконечность, другой же ρ_1 равен (фиг. 208)

$$\rho_1 = \frac{x}{\sin \alpha} = \frac{x l}{f},$$

так как

$$\sin \alpha = \frac{f}{l}.$$



Фиг. 208

Таким образом усилии s по направлению касательной к параллельному кругу определяются из общего уравнения $\frac{Q_2}{\rho_2} + \frac{Q_1}{\rho_1} = p$, которое при $\rho_2 = \infty$ обращается в уравнение:

$$\frac{Q_1}{\rho_1} = p \quad \text{или} \quad \frac{s}{\rho_1} = \gamma (h - y),$$

где $\gamma (h - y)$ — величина давления на коническую поверхность в рассматриваемом месте.

Подставляя вместо z_1 вышеприведенное для него значение, получим:

$$s = \gamma \frac{l}{f} x (h - y). \quad (28)$$

Заменяем в нем $x = y \cdot \operatorname{ctg} \alpha$, тогда величина s представится в следующем виде:

$$s = \gamma \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\sin \alpha} y (h - y). \quad (29)$$

При $y = 0$ $s = 0$.

При $h = f$ и $y = f$ $s = 0$.

Наибольшее значение s будет иметь место при $y = \frac{h}{2}$, которое получается из условия $\frac{ds}{dy} = 0$ и будет равно:

$$s = \gamma \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\sin \alpha} \frac{h^2}{4}. \quad (30)$$

Это выражение применимо в пределах от $h = 0$ до $h = 2f$.

Для $h = f$ наибольшее значение s будем иметь при $y = \frac{f}{2}$, т. е. в сечении, расположенном на половине высоты конуса дна.

Для $h = 2f$ наибольшее значение s будет иметь место при $y = f$, т. е. у основания конуса дна и месте сопряжения его с цилиндрической частью.

Для $h > 2f$ наибольшее значение s определяется по ф-ле (29) и будет иметь место при $y = f$, т. е. у основания конуса, так как ф-ла (30) в этом случае неприменима, ибо даст наибольшие значения s за пределами очертаия дна резервуара.

Определим теперь величину усилий в конусе, действующих по направлению образующей конуса. Рассмотрим сечение mn конуса.

Вес воды, надающий на коническое дно ниже рассматриваемого сечения, равен:

$$\gamma \left[\pi \cdot x^2 (h - y) + \pi x^2 \frac{y}{3} \right].$$

Усилия t , действующие по образующей конуса, распространяются по всему сечению его mn и равны $2\pi x \cdot t$.

Приравнявая вертикальную составляющую этого усилия весу воды, получим:

$$2\pi \cdot x \cdot t \cdot \sin \alpha = \gamma \cdot \pi \cdot x^2 \left(h - \frac{2}{3} y \right),$$

откуда

$$t = \gamma \frac{l}{2f} x \left(h - \frac{2}{3} y \right) \quad (31)$$

или

$$t = \gamma \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{2 \sin \alpha} y \left(h - \frac{2}{3} y \right). \quad (32)$$

При $y = 0$ $t = 0$.

При $h = f$ и $y = f$

$$t = \gamma \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{2 \sin \alpha} \cdot \frac{f^2}{3}. \quad (33)$$

Наибольшее значение t будет иметь место при $y = \frac{3}{4}h$, которое получается из условия $\frac{dt}{dy} = 0$ и будет равно:

$$t = \gamma \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\sin \alpha} \frac{3}{16} h^2. \quad (34)$$

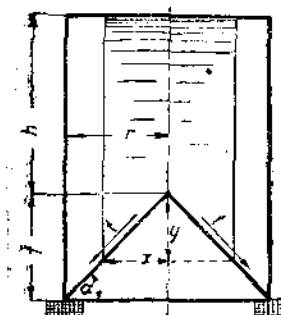
Последняя формула применима в пределах высоты h от $h=0$ до $h = \frac{4}{3}f$.

При $h = \frac{4}{3}f$ наибольшее значение t будет у основания конуса в месте сопряжения его с цилиндрической частью и будет определяться ур-нием (34).

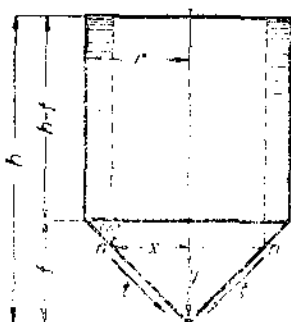
Для значений h , больших $\frac{4}{3}f$, наибольшие значения t определяются

по ур-нию (32) и будут иметь место при $y=f$, т. е. у основания конуса, так как ф-ла (34) в этом случае неприменима, ибо дает наибольшие значения t за пределами очертаия дна резервуара.

Если коническое дно резервуара обращено конусом вверх, как это показано на приводимом эскизе (фиг. 209), то стенки дна будут сжаты и усилия в них опре-



Фиг. 209



Фиг. 210

деляются по формулам, сходным с формулами (32) и (29) по своему выражению, но со знаком плюс, а не минус перед y во втором члене в скобках. Вывод их подобен предыдущему:

$$t = \gamma \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{2 \sin \alpha} y \left(h + \frac{2}{3} y \right), \quad (35)$$

$$s = \gamma \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\sin \alpha} (h + y). \quad (36)$$

Необходимая толщина железа дна определяется по формулам:

$$\delta = \frac{t_{\max}}{K} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{s_{\max}}{K}. \quad (37)$$

К полученному наибольшему значению δ прибавляется 1—2 мм на ржавление.

Величина допускаемого напряжения K берется в зависимости от ослабления стенки швами и принимается $K = K_0 \varphi$, где K_0 — основное допускаемое напряжение, а φ — коэффициент ослабления железа для заклепочных отверстий.

В том случае, когда коническое дно резервуара подперто в вершине, как это часто имеет место в водонапорных резервуарах, усилия t и s в его стенках определяются следующим образом (фиг. 210).

Усилия по направлению касательных к параллельным кругам не зависят

от положения опоры и определяются по формуле (29), что же касается усилий t , то они будут непрерывно расти от основания конуса к его вершине. Определим величину этих усилий из условия равновесия вертикальных сил для любого сечения nn .

Для сечения nn будем иметь:

$$2 \pi \cdot x \cdot t \sin \alpha = Q - Q_1,$$

где Q — общий вес воды в резервуаре,

Q_1 — вес воды, соответствующий сечению nn .

$$Q_1 = \gamma \cdot \pi \cdot x^2 \left(h - y + \frac{y}{3} \right) = \gamma \pi x^2 \left(h - \frac{2}{3} y \right)$$

и

$$Q = \gamma \cdot \pi \cdot r^2 \left(h - \frac{2}{3} f \right);$$

$$t = \gamma \frac{r^2}{2x \sin \alpha} \left(h - \frac{2}{3} f \right) - \gamma \frac{x}{2 \sin \alpha} \left(h - \frac{2}{3} y \right)$$

или

$$t = \gamma \cdot \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[\frac{r^2}{x} \left(h - \frac{2}{3} f \right) - x \left(h - \frac{2}{3} y \right) \right];$$

$$t = \gamma \cdot \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[\frac{r^2}{\operatorname{ctg} \alpha} \left(h - \frac{2}{3} f \right) \frac{1}{f} - y \operatorname{ctg} \alpha \left(h - \frac{2}{3} y \right) \right]. \quad (38)$$

Резервуары с днищами системы Интце

Резервуары больших емкостей с выпуклыми сферическими днищами (провесные днища) требуют опорного кольца большого диаметра, что излишне увеличивает размеры сооружения. С этой целью очень часто в таких резервуарах днищам придают сложную форму, представляющую собой взаимное сочетание сферических и конических поверхностей (система Интце).

Резервуары с такими днищами устанавливаются преимущественно на водонапорных башнях. В особенности они удобны в металлических башнях, когда не требуется устройства отселения резервуара и последний остается открытым.

Опорное кольцо, состоящее обычно из широкой полосы с уголками, представляет собой в поперечном сечении тавровую или двутавровую клепаную балку, очень удобно связываемую с металлической конструкцией, поддерживающей резервуар подставки.

Наиболее употребительные емкости резервуаров с днищами Интце составляют 375, 625, 750 и 1250 м³. Встречаются, конечно, резервуары и других емкостей, в том числе и меньших — от 40 до 250 м³.

а) Конструкция днищ системы Интце. Отдельным поверхностям, составляющим днище, придают на практике размеры, указанные на фиг. 211 для днища, состоящего из одной конической и одной сферической, обращенной внутрь резервуара, поверхности, а на фиг. 212 для днища, состоящего из двух конических поверхностей и одной сферической, обращенной выпуклостью наружу.

С целью избежать усилий, могущих растягивать или сжимать опорное кольцо днища, диаметру последнего придают такие размеры, при которых растягивающие и сжимающие опорное кольцо давления взаимно уравно-

вешиваются, и опорное кольцо подвергается только вертикальному усилию от веса самого резервуара и налитой в него жидкости.

На приводимых эскизах все размеры даны в зависимости от радиуса R цилиндрической части резервуара.

При соотношениях, указанных на фиг. (211), объемы отдельных частей резервуара, обозначенные на чертеже через v_1 и v_2 , будут:

$$v_1 = 4,712 R^3; \quad v_2 = 0,465 R^3 \\ \text{и } v = v_1 + v_2 = 5,177 R^3.$$

Объемы отдельных частей резервуара по фиг. 212 соответственно будут:

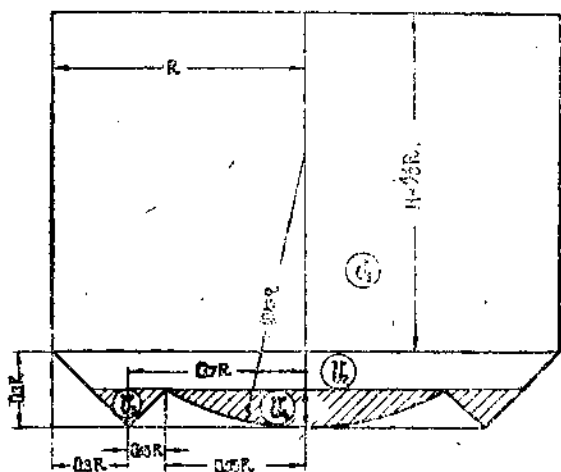
$$v_1 = \frac{4}{3} \pi R^3 = 4,19 R^3; \quad v_2 = \\ = 0,403 R^3; \quad v_3 = 0,099 R^3; \\ v_4 = 0,073 R^3 \text{ и } v = v_1 + v_2 + \\ + v_3 + v_4 = 4,765 R^3.$$

Указанные соотношения размеров и объемов в зависимости от радиуса R резервуара позволяют легко и быстро определять размеры днища и вычислять необходимые объемы.

Теоретическое соотношение радиусов опорного кольца r и цилиндрической части резервуара R , при котором давления на опорное кольцо, производимые на него налитой жидкостью, с наружной и внутренней стороны взаимно уравновешиваются, выражается формулой:

$$r = \frac{R}{\sqrt{2}}; \quad \frac{\pi R^2 H}{2} = \pi r^2 H,$$

— отсюда вышеуказанное значение r .



Фиг. 212

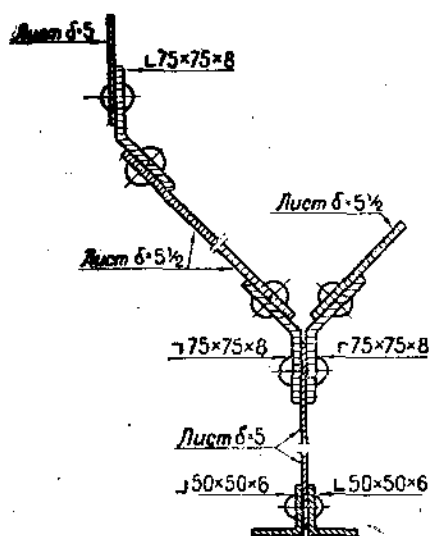
Для простоты вычислений и удобства запоминания в эскизах это соотношение принято равным $r = 0,7 \cdot R$ вместо указанного выше, что дает незначительные отступления в распределении давлений на кольцо.

На фиг. 215 и 216 изображен резервуар аналогичной конструкции, но емкостью 120 м³.

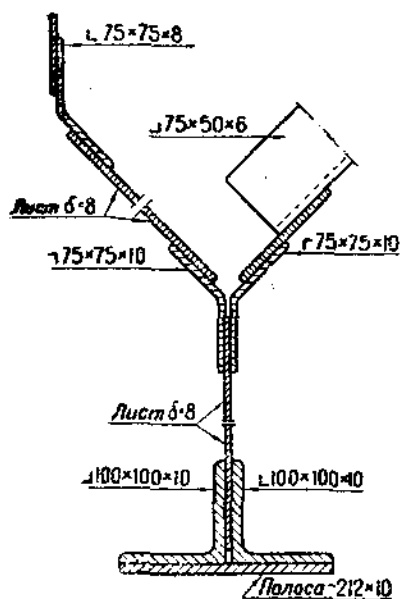
На фиг. 215 и 216 изображен резервуар аналогичной конструкции, но емкостью 120 м³.



На тех же чертежах видны детали устройства сопряжения конической поверхности с цилиндрической и конической поверхности с вогнутой сферической.

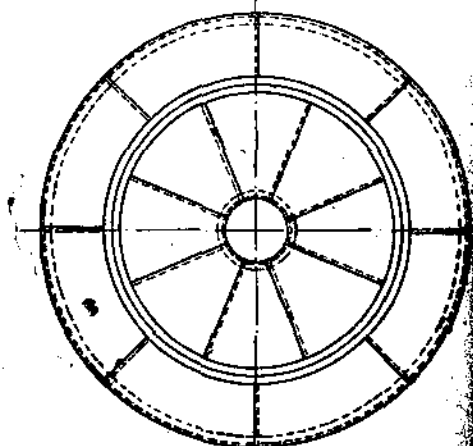
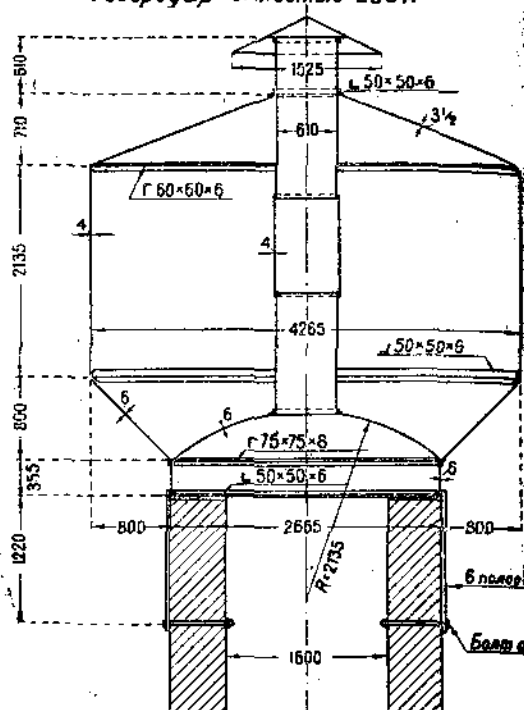


Фиг. 214



Фиг. 216

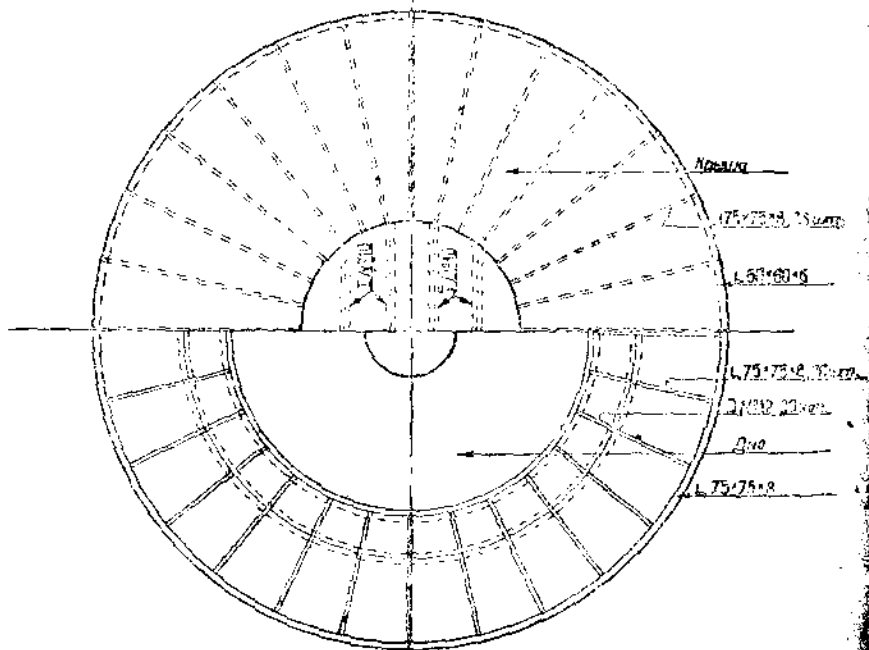
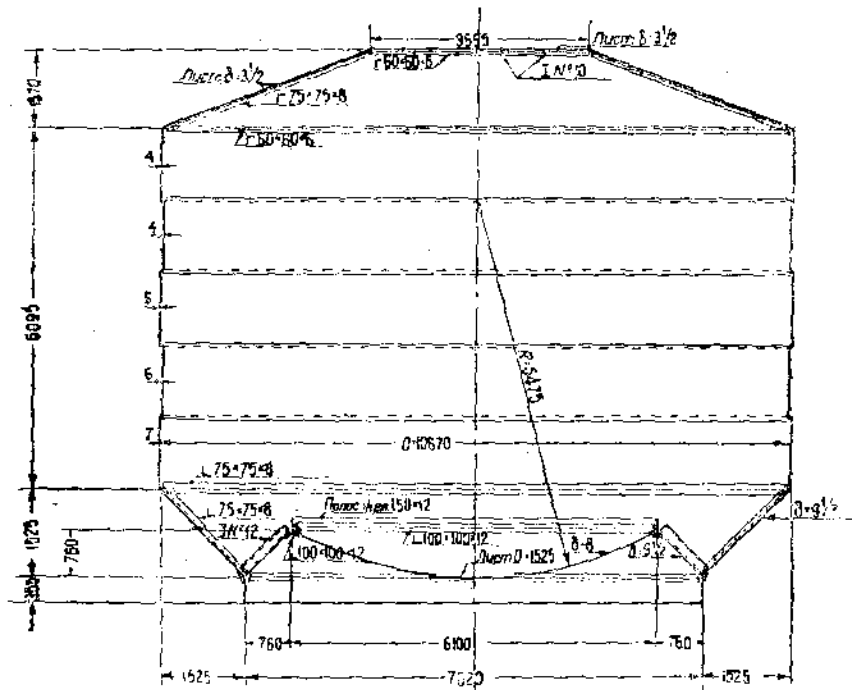
Резервуар емкости 250 м³



Фиг. 217

рической. На фиг. 217 представлен такой же резервуар, установленный на каменной круглой трубе, с устройством металлической трубы внутри резервуара, в которой располагается лестница, выводящая на крышу резервуара.

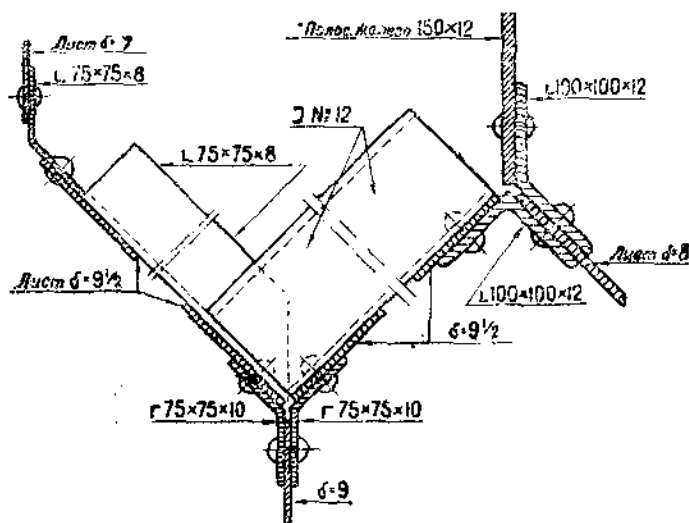
Резервуар емкостью 625 м³



Фвг. 218

Вогнутая, обращенная внутрь резервуара, сферическая часть дна в конструктивном отношении не может считаться, однако, рациональной, так как устройство вогнутой сферы, подверженной наружному давлению, требует по сравнению с провесным сферическим дном соответствующих добавочных креплений жесткости и особенной тщательности изготовления.

Поэтому целесообразнее конструировать выпуклую наружу резервуара, опирая последнюю на вторую коническую поверхность. Такая конструкция встречается очень часто в практике постройки резервуаров значительной емкости.



Фиг. 219

На фиг. 218 и 219 приведен резервуар емкостью 625 м³ с дном, представляющим такое сочетание двух конических поверхностей со средней сферической, выпуклой наружу резервуара, с показанием отдельных частей взаимного сочетания указанных поверхностей.

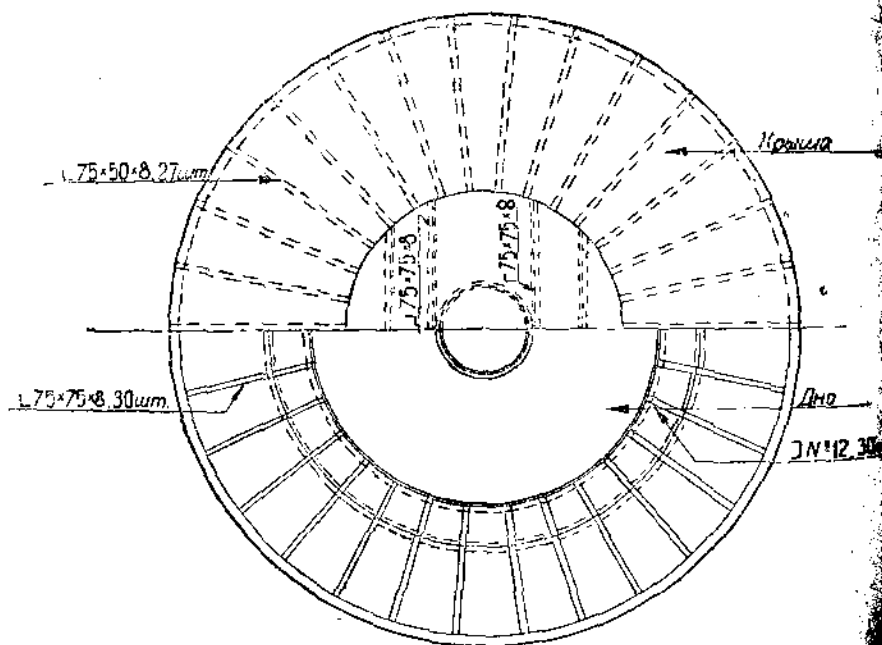
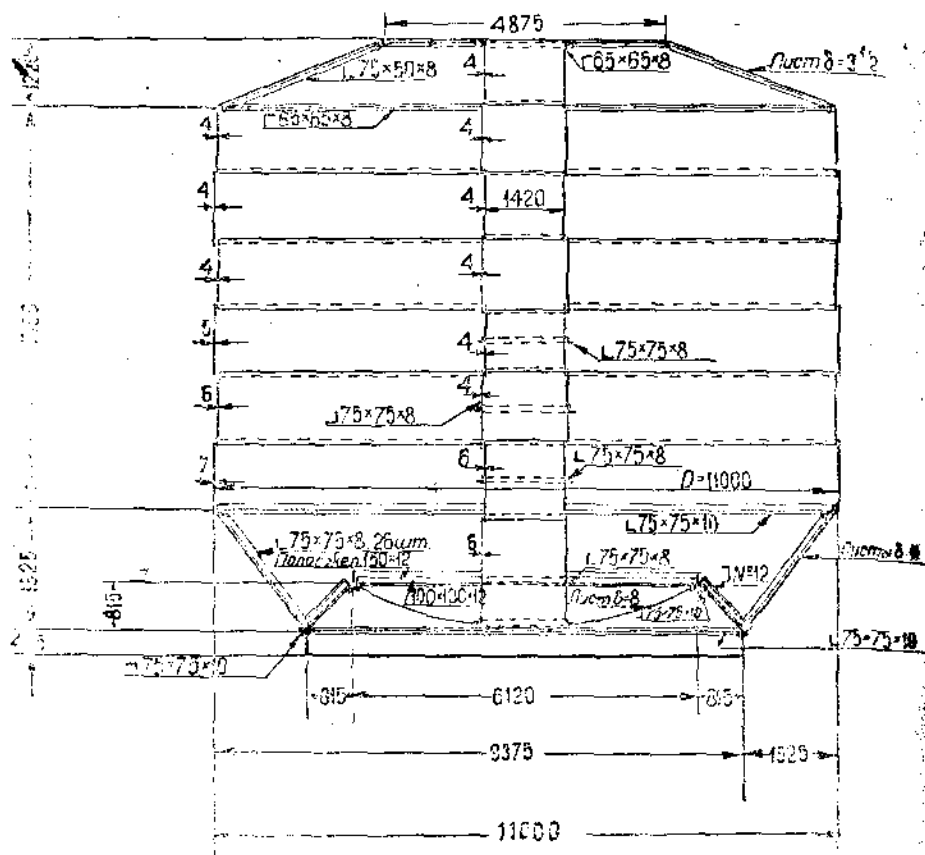
Фиг. 220 и 221 дают пример резервуара такого же типа емкостью 1000 м³ со средней трубой, проходящей внутри резервуара. В трубе обычно находится лестница, позволяющая иметь доступ на крышу резервуара. На фиг. 222 и 223 приведен пример резервуара большой емкости (10 м³) аналогичной конструкции.

Для резервуаров, изображенных на предыдущих чертежах, приведен следующий сводный таблицей.

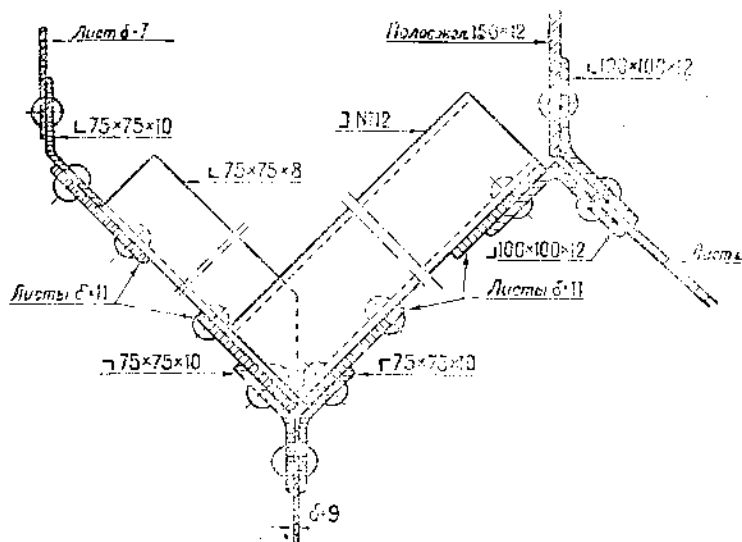
Для резервуаров с дном, состоящим из двух конических и одной сферической поверхностей

Емкость резерв. в м ³	Вес резерв. в кг	Вес на 1 м ³ емкос. в кг/м ³
375	17 000	46
625	29 000	46
750	34 000	46
1 250	51 000	41

Резервуар емкостью 750 м³

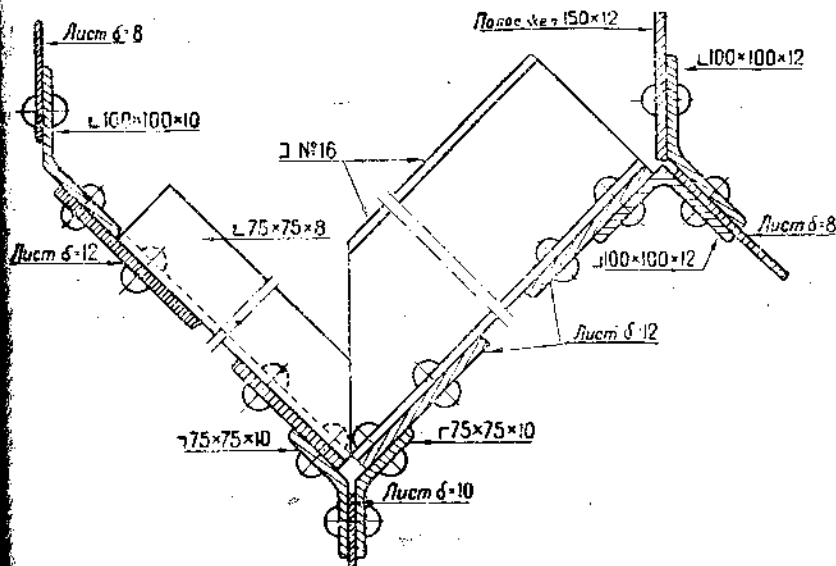


Вес резервуаров с дном, состоящим из одной конической и одной сферической поверхностей, для емкостей 120—250 м³ составляет 50—60 кг/м³ емкости и для малых емкостей (80—40 м³) до 70 кг/м³ емкости.



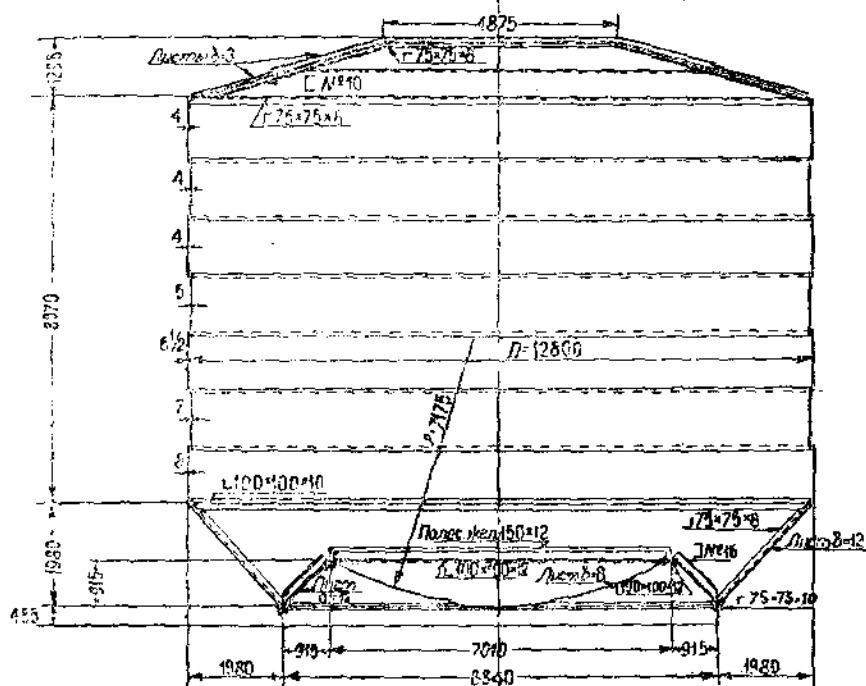
Фиг. 221

б) Пример расчета дна Ипте. В предыдущем были уже описаны способы расчета отдельных элементов, составляющих сложное дно, т. е. конических и сферических поверхностей. Приводим расчет основных элементов резервуара емкостью 1250 м³, изображенного на фиг. 222 и 223.



Фиг. 223

Резервуар емкостью 1250 м³



Φπ. 232

Основные размеры резервуара:

диаметр цилиндрической части $2R$	12 800 мм
высота » » » H	8 370 »
» наружного конуса	1 980 »
диаметр опорного кольца $2r$	8 840 »
высота внутреннего конуса и стрелки сферического дна	915 »
диаметр основания сферического сегмента	7 010 »
радиус сферической поверхности дна ρ	7 175 »

Отношение радиусов $r:R$ и зависимость всех остальных размеров от R примерно такая, какая указана на фиг. 212.

Следовательно, объем резервуара может быть определен по формуле

$$v = 4,765 \cdot R^3 = 4,765 \cdot 6,4^3 \approx 1250 \text{ м}^3.$$

Подсчет по принятым размерам дает 1235 м^3 , т. е. имеющиеся отступления от соотношений, указанных на фиг. 212, приводят к незначительному отклонению действительного объема от вычисленного по вышеуказанной формуле.

Цилиндрическая часть резервуара.

I пояс. Расчетная высота налива 837 см.

Усилие на 1 пог. см шва $P = 837 \cdot 640 \cdot 0,001 = 535 \text{ кг}$.

Вертикальные швы двухрядные внахлестку, к. п. д. $\varphi = 0,75$.

Необходимая толщина железа пояса $\delta = \frac{535}{1200 \cdot 0,75} = 0,6 \text{ см}$; принято $\delta = 8 \text{ мм}$. Заклепки $d = 16,5 \text{ мм}$, $d_0 = 17 \text{ мм}$; шаг $t = 65$; $\varphi = 0,74$ и $K_s = \frac{535}{0,8 \cdot 0,74} = 905 \text{ кг/см}^2$.

Напряжения в заклепках $K_s = \frac{535 \cdot 6,5}{2 \cdot 2,27} = 765 \text{ кг/см}^2$.

II пояс. Расчетная высота налива $\frac{6}{7} \cdot 837 = 717 \text{ см}$.

Усилие на 1 пог. см шва $P = 717 \cdot 640 \cdot 0,001 = 458 \text{ кг}$.

Швы такого же типа и $\delta = \frac{458}{900} = 0,51 \text{ см}$; принято $\delta = 7 \text{ мм}$;

$K_s = \frac{458}{0,7 \cdot 0,74} = 890 \text{ кг/см}^2$, $K_s = \frac{458 \cdot 6,5}{2 \cdot 2,27} = 660 \text{ кг/см}^2$.

III пояс. Расчетная высота налива $\frac{5}{7} \cdot 837 = 598 \text{ см}$.

$P = 598 \cdot 640 \cdot 0,001 = 383 \text{ кг}$.

Швы аналогичного типа, $\delta = \frac{383}{900} = 0,43 \text{ см}$; принято $\delta = 6,4 \text{ мм}$ и

$K_s = \frac{383}{0,64 \cdot 0,75} = 800 \text{ кг/см}^2$.

Диаметр заклепок $d = 13,5 \text{ мм}$, $d_0 = 14 \text{ мм}$, шаг $t = 53 \text{ мм}$ и $\varphi = 0,74$.

$$K_s = \frac{383}{0,64 \cdot 0,74} = 807 \text{ кг/см}^2$$

напряжение в заклепках

$$K_s = \frac{383 \cdot 5,3}{2 \cdot 1,54} = 660 \text{ кг/см}^2.$$

IV пояс. Расчетная высота налива $\frac{4}{7} \cdot 837 = 478 \text{ см}$.

$$P = 478 \cdot 640 \cdot 0,001 = 306 \text{ кг}.$$

Необходимая толщина железа $\delta = \frac{306}{900} = 0,34$ см; принято $\delta = 4,8$ мм.

Швы двухрядные; диаметр заклепок $d = 11,5$ мм, $d_0 = 12$ мм, $t = 53$ мм и $\varphi = 0,77$.

$$K_p = \frac{306}{1,48 \cdot 0,77} = 530 \text{ кг/см}^2; K_z = \frac{306 \cdot 5,3}{2 \cdot 1,13} = 717 \text{ кг/см}^2.$$

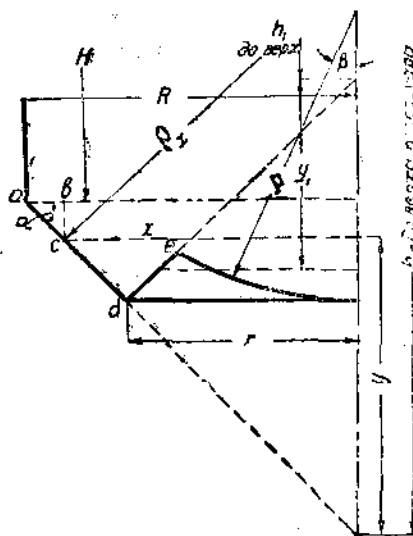
В пояс. Расчетная высота налива $\frac{3}{7} \cdot 837 = 359$ см.

$$P = 359 \cdot 640 \cdot 0,001 = 230 \text{ кг.}$$

Необходимая толщина железа $\delta = \frac{230}{900} = 0,26$ см; принято $\delta = 4$ мм.

Швы двухрядные; заклепки $d = 9,5$ мм, $d_0 = 10$ мм, шаг $t = 45$ мм и $\varphi = 0,78$.

$$K_p = \frac{230}{0,4 \cdot 0,78} = 740 \text{ кг/см}^2; K_z = \frac{230 \cdot 4,5}{2 \cdot 0,785} = 660 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 224

Остальные пояса такого же сечения и мы их не рассматриваем.

Наружный конус дна (фиг. 224).

Усилие, разрывающее коническую поверхность в любой точке с ее и направленное по касательной к параллельному кругу в рассматриваемой точке, определяется по ф-ле (29) и равно

$$s = \gamma \cdot \frac{\text{ctg } \alpha}{\sin \alpha} \cdot y(h-y),$$

причем наибольшее значение s будет иметь место при $y = \frac{h}{2}$. Угол α , — в нашем случае $\alpha = 45^\circ$, $\sin \alpha = 0,707$, $\text{ctg } \alpha = 1$; следовательно,

$$s = \frac{0,001}{0,707} y [h-y] = 0,0014 \cdot y [h-y].$$

Усилие s в точке d равно

$$y = r = 442 \text{ см; } h = 837 + 640 = 1477 \text{ см; } h-y = 1035 \text{ см и } s = 0,0014 \cdot 442 \cdot 1035 = 640 \text{ кг на 1 пог. см.}$$

Усилие s в точке a равно

$$y = R = 640 \text{ см; } h-y = 837 \text{ см и } s = 0,0014 \cdot 640 \cdot 837 = 750 \text{ кг на 1 пог. см.}$$

Наибольшее усилие при $y = \frac{1}{2} \cdot 1477 = 738,5$ см, т. е. за пределами очертания резервуара.

Тот же самый результат мы могли бы получить и другим путем. В самом деле, величина $p_x = x \cdot \sqrt{2}$.

Давление жидкости в рассматриваемой точке c равно $(H + bc)\gamma$, но $bc = ab = R - x$; следовательно, давление $(H + R - x) \cdot \gamma$ и усилие

$$s = (H + R - x) \cdot \gamma \cdot x \cdot \sqrt{2}.$$

Наибольшее значение s будет иметь место при $x = \frac{H+R}{2}$, которое получается из уравнения $\frac{ds}{dx} = 0$.

Нетрудно видеть, что величина $H+R$ в нашем случае равна h , и выражение для s получаем аналогичное выведенному ранее.

Необходимая толщина железа наружного конуса $\delta = \frac{750}{1200 \cdot 0,75} = 0,84$ см; принято $\delta = 13$ мм.

Швы двухрядные внахлестку; диаметр гаек $d = 19$ мм, $d_0 = 20$ мм, $\omega = 3,14$ см², шаг заклепок $t = 65$ мм, $\varphi = 0,69$ и наибольшее напряжение металла по шву $K_s = \frac{750}{1,3 \cdot 0,69} = 840$ кг/см².

Напряжение в заклепках $K_z = \frac{750 \cdot 6,9}{2 \cdot 3,14} = 825$ кг/см².

Так как отношение R к r близко к величине $\sqrt{2}$, то, следовательно, объем резервуара делится цилиндрической вертикальной поверхностью, проходящей через опорное кольцо, примерно на две равных части и давление воды на опорное кольцо с обеих сторон будет одинаковое.

Давление на опорное кольцо со стороны наружного конуса составляет

от веса воды	0,5 · 1250 = 625 м
» » боков резервуара и крышки	50 »
Итого	655 м

Вертикальное усилие на 1 пог. см опорного кольца $\frac{655 \cdot 000}{\pi \cdot 884} = 237$ кг.

Усилие по направлению конуса $\sqrt{2} \cdot 237 = 335$ кг на 1 пог. см. Продольное сжатие от усилия в 335 кг вызывает поперечное удлинение и добавочное усилие, величина которого будет

$$335 : m, \text{ где } m = \frac{10}{8},$$

$$\frac{335 \cdot 8}{10} = 100 \text{ кг на 1 пог. см,}$$

и добавочное напряжение металла листов в направлении их разрыва будет внизу конуса $100 : 1,3 = 77$ кг/см².

Следовательно, полное напряжение металла будет

$$K = \frac{640 + 100}{1,3 \cdot 0,69} = 823 \text{ кг/см}^2.$$

Принимая то же добавочное усилие таким же и для верхней части конуса, получим

$$K = \frac{750 + 100}{1,3 \cdot 0,69} = 945 \text{ кг/см}^2.$$

Внутренний конус дна. Усилие в любой точке внутренней конической поверхности определяется по ф-ле (36), которая в нашем случае будет иметь вид

$$s = \gamma \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\sin \alpha} \cdot y_1 (h_1 + y_1).$$

Усилие, сжимающее коническую поверхность и приходящееся на 1 пог. см, для точки d равно

$$y_1 = 442 \text{ см}; h_1 = 593 \text{ см}; s = 0,0014 \cdot 442 \cdot 1035 = 640 \text{ кг на 1 пог. см.}$$

В точке e ... $y_1 = 350,5 \text{ см}; h_1 = 943,5 \text{ см}; s = 0,0014 \cdot 350,5 \cdot 943,5 = 463 \text{ кг на 1 пог. см.}$

Толщина железа внутреннего конуса принята такой же, как и наружного, т. е. $\delta = 13 \text{ мм.}$

Швы, диаметр заклепок и шаг их такие же, как и для наружного конуса.

Следовательно, напряжение металла конической поверхности в швах будет

$$\text{в нижней части конуса } K = \frac{640}{1,3 \cdot 0,69} = 710 \text{ кг/см}^2$$

$$\text{» верхней » » } K = \frac{463}{1,3 \cdot 0,69} = 515 \text{ кг/см}^2$$

Давление на опорное кольцо со стороны внутреннего конуса

от веса воды	625 м
» » конуса и сферического дна	11 »

Итого . . . 636 м

На 1 пог. см опорного кольца $\frac{636 \cdot 000}{\pi \cdot 884} = 230 \text{ кг.}$

Усилие по направлению конуса $230\sqrt{2} = 325 \text{ кг на 1 пог. см.}$

Продольное усилие сжатия конуса вызовет добавочное усилие по касательной к параллельным кругам конуса, причем добавочное усилие будет, в противоположность основным усилиям, растягивать стенки конуса и, следовательно, уменьшать действующие в нем напряжения от сжатия. Величина добавочного растягивающего напряжения определится подобно предыдущему.

Сферическая часть днища. Радиус сферической поверхности $r = 717,5 \text{ см.}$

Наибольшие усилия как по меридиональным, так и по параллельным кругам имеют место в нижней точке дна и равны

$$P = 1035 \cdot 0,5 \cdot 717,5 \cdot 0,001 = 370 \text{ кг,}$$

где 1035 см — расчетная высота налива.

Швы однорядные внахлестку; к. и. д. принят для расчета $\varphi = 0,5$.

Необходимая толщина железа днища $\delta = \frac{370}{1200 \cdot 0,5} = 0,62 \text{ см;}$ принято железо $\delta = 8 \text{ мм;}$ диаметр заклепок $d = 16,5 \text{ мм, } d_0 = 17 \text{ мм, } \omega = 2,27 \text{ см}^2,$ шаг заклепок $t = 45 \text{ мм}$ и $\varphi = 0,62$. Действительное напряжение железа в швах

$$K_s = \frac{370}{0,8 \cdot 0,62} = 745 \text{ кг/см}^2,$$

в заклепках

$$K_s = \frac{370 \cdot 4,5}{2,27} = 735 \text{ кг/см}^2.$$

Величина угла β для точки e равна

$$\text{угол } \beta = 29^\circ 20', \sin \beta = \frac{350,5}{717,5} = 0,49, \cos \beta = 0,872 \text{ и } \operatorname{ctg} \beta = 1,779.$$

Усилия, касательные к меридиональным и параллельным кругам в точке c , равны:

$$t = 0,001 \cdot 717,5 \left[\frac{1035 - 717,5}{2} + \frac{717,5}{3} \cdot \left(0,872 + \frac{1}{1 + 0,872} \right) \right] =$$

$$= 0,7175 [517,5 - 0,031 \cdot 717,5] = 355 \text{ кг на } 1 \text{ пог. см};$$

$$s = 0,001 \cdot 717,5 \cdot \left[\frac{1035 - 717,5}{2} + \frac{717,5}{3} \cdot \left(2 \cdot 0,872 - \frac{1}{1 + 0,872} \right) \right] =$$

$$= 0,7175 [517,5 - 0,097 \cdot 717,5] = 320 \text{ кг на } 1 \text{ пог. см}.$$

Опорное кольцо сферы. Усилие τ , сжимающее опорное кольцо сферы, найдется разложением усилия t на усилие, направленное по образующей внутреннего конуса и сжимающее конус, и на усилие τ , передающееся на опорное кольцо сферы (фиг. 225).

Величина усилия $\tau = t \cos \beta + t \sin \beta = t (\cos \beta + \sin \beta) = 355 \cdot 1,362 = 482 \text{ кг на } 1 \text{ пог. см}$ и усилие, действующее по поперечному сечению кольца, будет равно

$$P = \tau \cdot r_1 = 482 \cdot 350,5 = 169\,000 \text{ кг}.$$

Величина усилия P может быть определена также по следующей формуле

$$P = \frac{Q \cdot r_1}{2\pi \cdot r_1 \cdot \tan \beta} + \frac{Q \tan \alpha}{2\pi r_1} \cdot r_1 = \frac{Q}{2\pi} \left(\tan \alpha + \frac{1}{\tan \beta} \right), \quad (39)$$

где Q — вес воды, падающей на днище, и вес самого днища

$$Q = 384\,000 \text{ (вес воды)} + 4000 \text{ (вес дна)} = 388\,000 \text{ кг}.$$

При $\alpha = 45^\circ \tan \alpha = 1$ и $P = \frac{Q}{2\pi} \left(1 + \frac{1}{\tan \beta} \right) = \frac{Q}{2\pi} (1 + \cot \beta).$

Если $\beta = 29^\circ 20'$, то

$$P = \frac{Q}{2\pi} \cdot 2,78 = \frac{Q \cdot 1,39}{\pi};$$

$$P = \frac{388\,000 \cdot 1,39}{3,14} = 171\,000 \text{ кг}.$$

Несколько бо́льшая величина P получилась вследствие учета веса самого дна. Сечение опорного кольца сферы составляет

для угольника	$100 \times 100 \times 12 \text{ мм}$	общей площадью	45,4 см ²
волоса	150×13	»	19,5 »
двост конуса	130×13	»	169,0 »
верхняя часть листов сферы	690×8	»	48,0 »
		Итого	281,9 см ²

Так как в верхней части сферы действует по касательным к параллельным кругам разрывающее усилие величиной 320 кг на 1 пог. см, уменьшающее общее сжимающее усилие опорного кольца сферы на величину $320 \cdot 60 = 19\,200 \text{ кг}$, то усилие сжатия опорного кольца определится величиной

$$171\,000 - 19\,200 = 151\,800 \text{ кг}$$

и напряжение металла $K = 151\,800 : 281,9 = 540 \text{ кг/см}^2.$

Внутренний конус укрепляется швеллерами жесткости № 16, располагаемыми вдоль образующей конуса на взаимном расстоянии около 830 мм, общим числом всего 30 шт. по всей поверхности конуса.

Наружный конус укрепляется уголками жесткости сечением $75 \times 75 \times 8$ мм общим числом 30 шт. по всей поверхности конуса.

Опорное кольцо всего резервуара, образуемое углом пересечения наружной и внутренней конических поверхностей, в силу выбранных соотношений размеров резервуара не испытывает сжимающих или растягивающих напряжений, так как сжимающие и растягивающие силы, действующие на него, взаимно уравновешиваются; кольцо подвергается только вертикальным усилиям, падающим на него от веса воды и веса самого резервуара.

§ 3. Опоры под резервуары для воды

В предыдущем было сказано, что водяные резервуары, располагаемые на высоте, устанавливаются или в специальных зданиях или на специальных металлических опорах.

У нас в СССР большим распространением пользуются сетчатые гиперболические опоры системы Шухова. В американской же практике почти исключительно применяются опоры, состоящие из небольшого числа (4—6—8 шт.) мощных стоек, наклоненных вверх к центру опоры и связанных между собой распорками и тягами.

Сетчатые опоры Шухова

а) Описание конструкций. Сетчатые опоры Шухова представляют собой гиперболоид вращения, образуемый из ряда стоек, сечением каждая из углового или швеллерного железа, взаимно пересекающихся и направленных по прямым линиям. Таким образом в каждой сетчатой опоре все стойки разделяются поровну на наружные и внутренние, наклоненные в противоположные друг к другу стороны.

Внизу и вверх все стойки обычно расставляются на равные друг от друга расстояния.

В местах пересечения уголки склепаны между собой, и для достижения необходимой связности к ним с внутренней стороны остова опоры прикрепляются горизонтальные кольца также из углового или швеллерного железа. Полученная таким образом поверхность представляет собой вполне жесткую систему.

Нижнее опорное кольцо остова сетчатой опоры устанавливается на кольцевой фундамент и скрепляется с последним болтами, располагаемыми у каждой из стоек.

В случае применения конструкции резервуара с плоским дном верхние концы стоек связываются кольцом, на котором укрепляется конструкция площадки под резервуар, состоящая из радиально располагаемых двутавровых или швеллерных балок, числом равным половине числа стоек, поверх которых устраивается настил из досок, образующий площадку, на которой устанавливается резервуар.

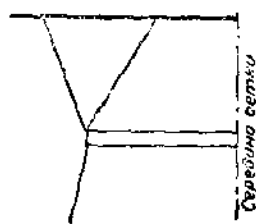
В случае же установки резервуара со сферическим провесным дном или со сложными днищами (система Нитце) верхнее кольцо остова является вместе с тем и непосредственной опорой для резервуара.

В первом случае, т. е. при резервуаре с плоским дном, резервуар

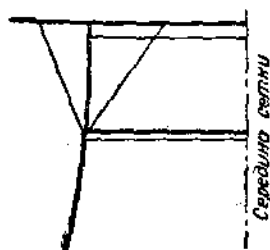
обычно утепляется деревянным шатром с крышей; для утепления резервуара снизу по нижним полкам радиальных балок, образующих площадку для резервуара, делается подшивки из досок и полученный таким образом двойной досчатый пол с прослойкой воздуха предохраняет резервуар снизу от замерзания в нем воды во время морозов. Деревянный же шатер, отстоящий от стенок резервуара на расстоянии 700 мм, также с двойными стенками, предохраняет резервуар с боков и сверху.

Во втором случае, т. е. при конструкции резервуара с провесным сферическим дном или днищем системы Интце, вокруг резервуара в большинстве случаев не устраивается деревянного утепляющего шатра, и резервуар стоит открыто с самостоятельным металлическим покрытием, целиком опирающимся на стенки резервуара.

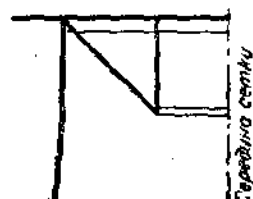
При отсутствии деревянного шатра в открыто располагаемых резервуарах некоторое утепление резервуара может быть произведено, в случае надобности, наложением изолирующего материала на его стенки.



Фиг. 226



Фиг. 227



Фиг. 228

Конструктивное оформление верхней части сетки, на которой покоится площадка под резервуар с плоским дном, применяется различное, а именно — или радиальные балки опираются на кольцо гиперболоида сетки, не доходящего до них на некоторую высоту, при посредстве двух расставленных между собой наклонных стоек (фиг. 226), или гиперболоид доводится до верха балок и оканчивается кольцом, поддерживающим радиальные балки площадки, а наклонные подкосы идут к балкам от второго нижележащего кольца сетки (фиг. 227).

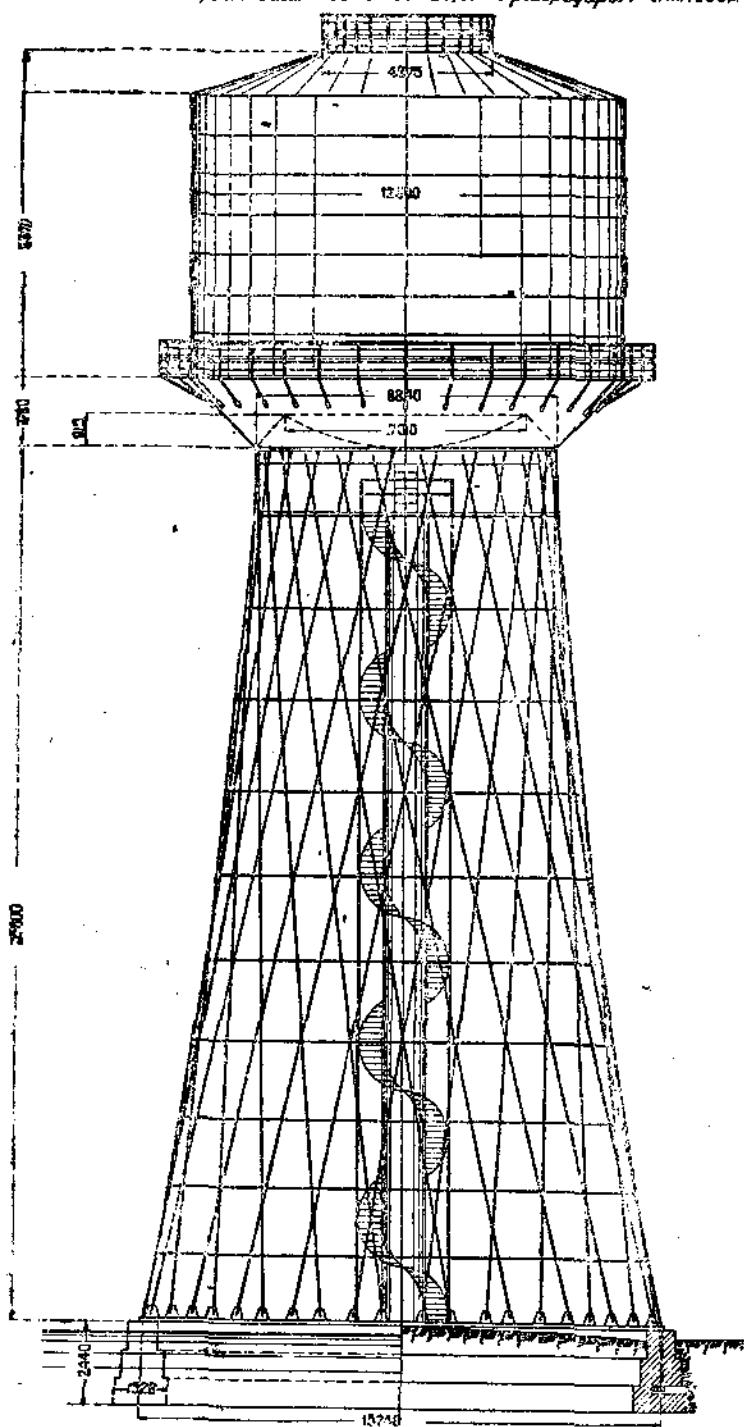
Такая конструкция удобна к применению при радиальных балках из дерева.

При малых резервуарах встречается также конструкция, в которой поддерживающие резервуар радиальные балки опираются с одной стороны на верхнее кольцо сетки, а с другой — на отдельные стойки, находящиеся внутри сетки и поддерживаемые тягами, направленными к верхнему кольцу сетки гиперболоида (фиг. 228).

На приводимых ниже чертежах и фотографиях приведены основные разновидности конструктивного оформления сетчатых гиперболоидальных башен Шухова, построенных в разных городах СССР. На фиг. 229 показана водонапорная башня высотой 25,6 м от фундамента до низа резервуара, емкость которого составляет 1250 м³, построенная в Воронеже для городского водопровода в 1915 г.

Конструкция резервуара этой башни была показана на фиг. 222 и 223. Дно резервуара — системы Интце и опирается непосредственно на верхнее

Водонапорная башня высотой 25,6 м с резервуаром емк. 1250 м³



Фиг. 229

кольцо сетки. Резервуар без утепляющего шатра и имеет коническую железную крышу.

Сетчатая опора состоит из 48 стоек, каждая сечением из двух швеллеров № 16. Диаметр верхнего кольца сетки 8,84 м; диаметр нижнего кольца 15,24 м. Нижнее кольцо остопа связано с фундаментом 48 болтами диаметром 25 мм.

Фундамент башни представляет собой кольцо диаметром 15,24 м, высотой 2,44 м. Визу ширина кольца 1,52 м, размер же наверху 0,7 м. Общий объем кладки фундамента составляет 147 м³.

Вес башни с резервуаром 135 т, из коих резервуар составляет 51 т.

К числу башен с неутепленными резервуарами относится также башня, изображенная на приводимой фотографии, построенная в 1913 г. на Среднеазиатской ж. д. (фиг. 230).

Высота остова сетки равна 15 м; емкость резервуара, имеющего сферическое провесное днище, составляет 400 м³.

Сетка остова состоит из 36 стоек, сечением каждая из двух швеллеров № 10. Диаметр верхнего кольца сетки 8,65 м, диаметр нижнего кольца сетки 13,9 м. Фундамент башни состоит из 18 столбов, по одному столбу на каждую пару стоек. Высота столбов 2,13 м. В основании столбы имеют размеры $1,24 \times 1,24$ м, вверху 0,7 м; между столбами промежуточное заполнение размерами $0,53 \times 0,53$ м.

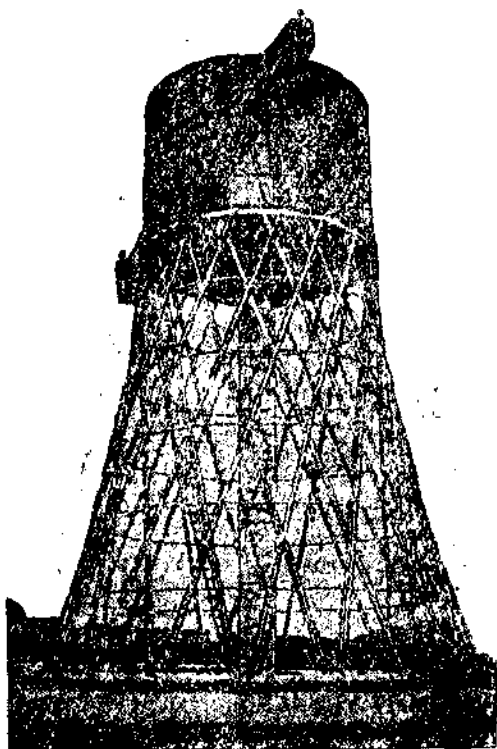
Опорное кольцо башни соединяется с фундаментными столбами болтами диаметром 32 мм, числом 18. Общий вес башни с резервуаром составляет 38 т, из коих резервуар — 15 т.

На фиг. 231 приведена башня с двумя резервуарами: верхним — емкостью 200 м³, находящимся на высоте 39,47 м, и нижним — емкостью 120 м³ на высоте 19,2 м, построенная на ст. Ярославль Сев. ж. д. в 1911 г.

Резервуары — со сферическим днищем, утепленные кожухом. Сетка остова башни состоит из двух гиперболоидов. Нижний гиперболоид имеет диаметр внизу 15,8 м, вверху 8,53 м. Диаметр верхнего гиперболоида внизу 8,53 м, вверху 7,47 м.

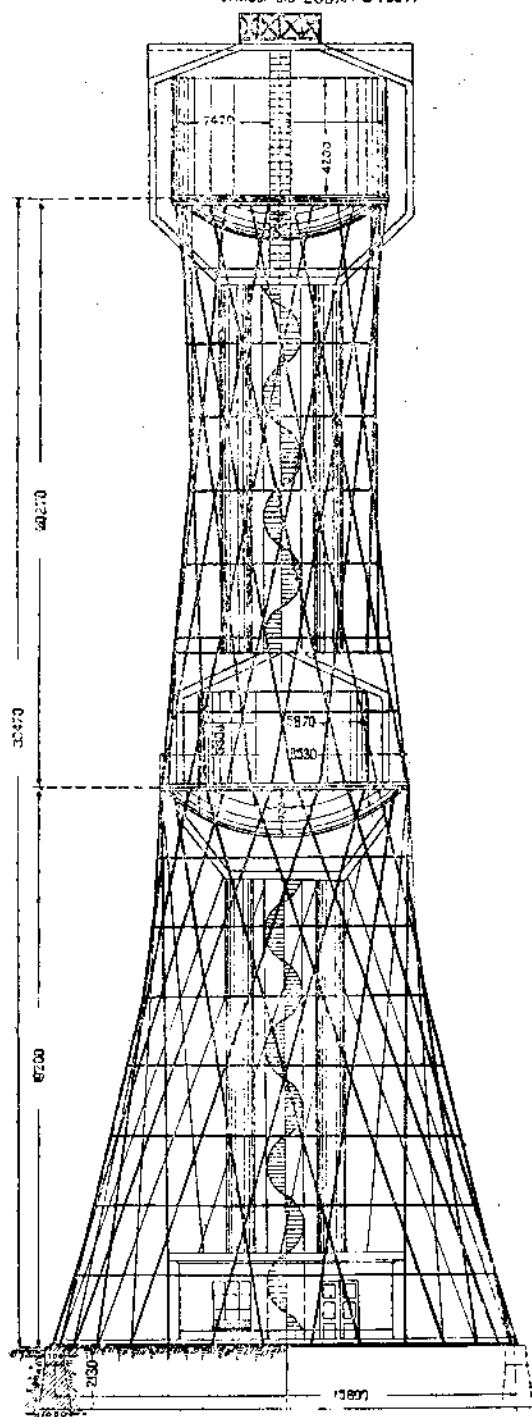
Число стоек гиперболоидов 30. Сечение стоек — угловое железо сечением последовательно снизу $110 \times 110 \times 16$; $110 \times 110 \times 12$; $100 \times 100 \times 12$ и на 11 и $90 \times 90 \times 10$ мм.

Число болтов, скрепляющих остова с фундаментом, 30; диаметр



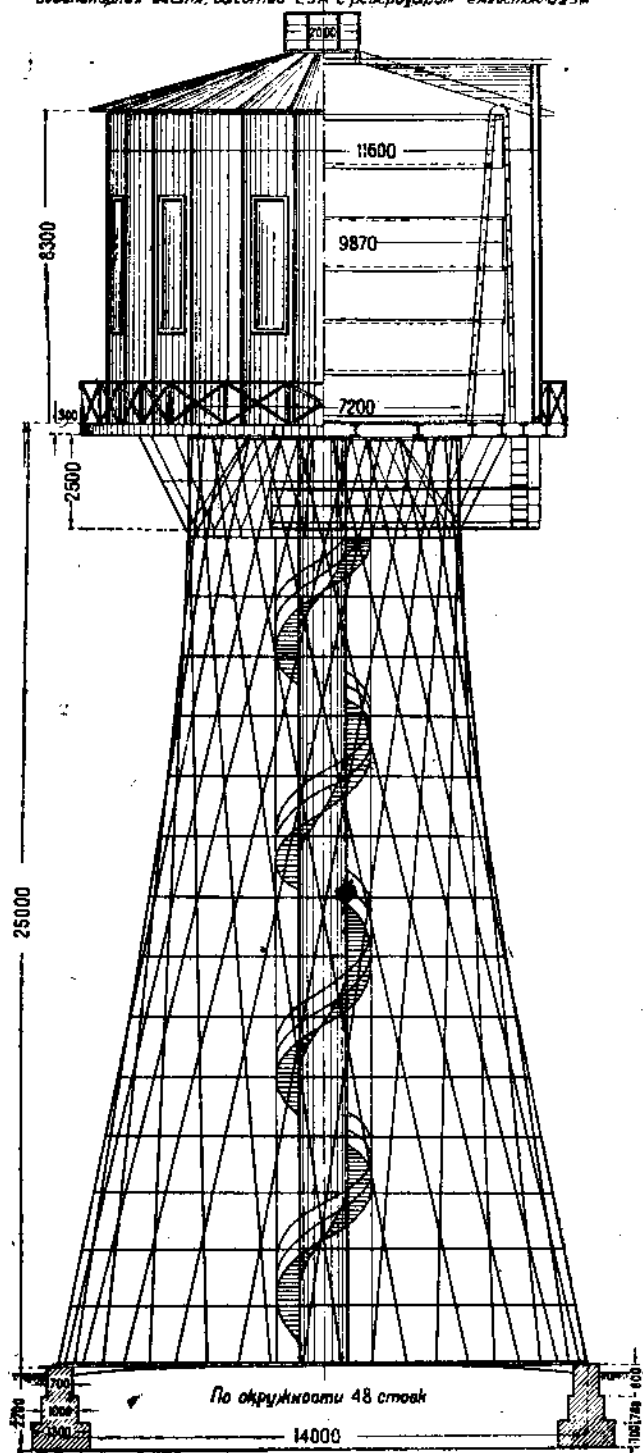
Фиг. 230

Водонапорная башня, высотой 39,47 м с беззвучар
емкостью 200 м³ и 120 м³

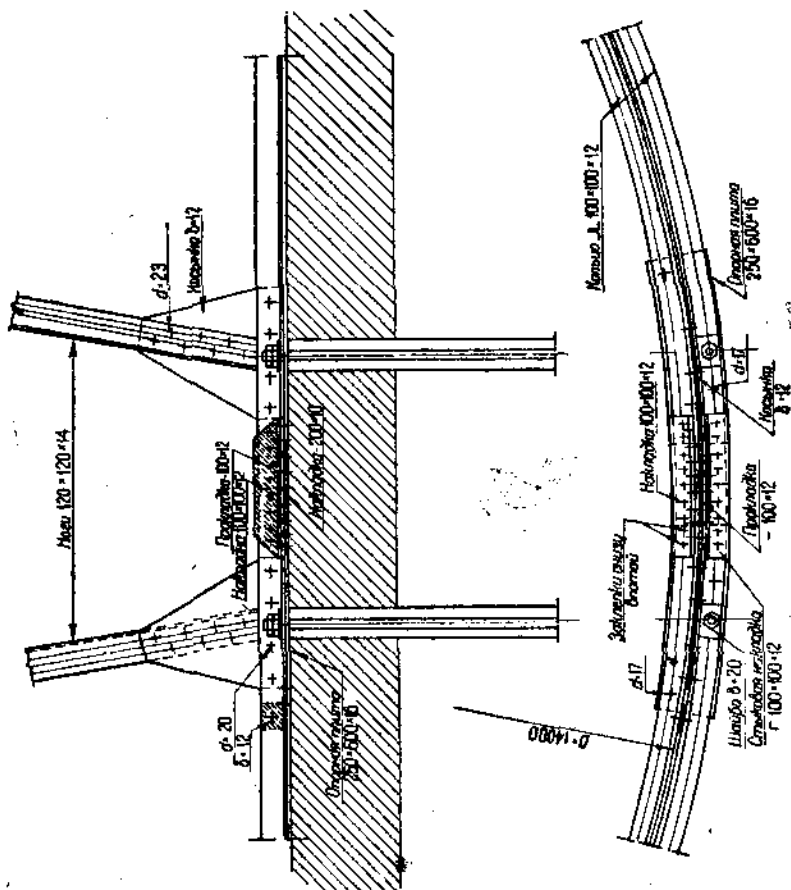
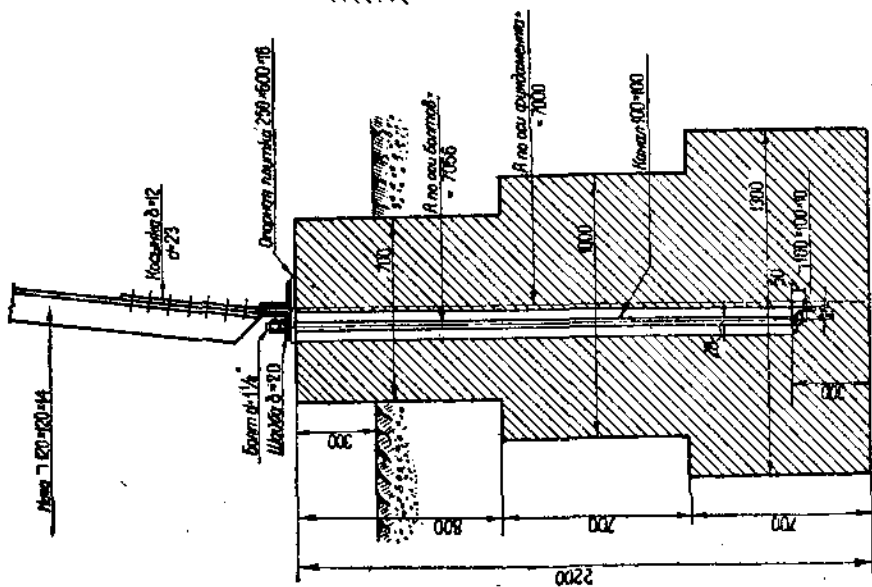


Фиг. 231

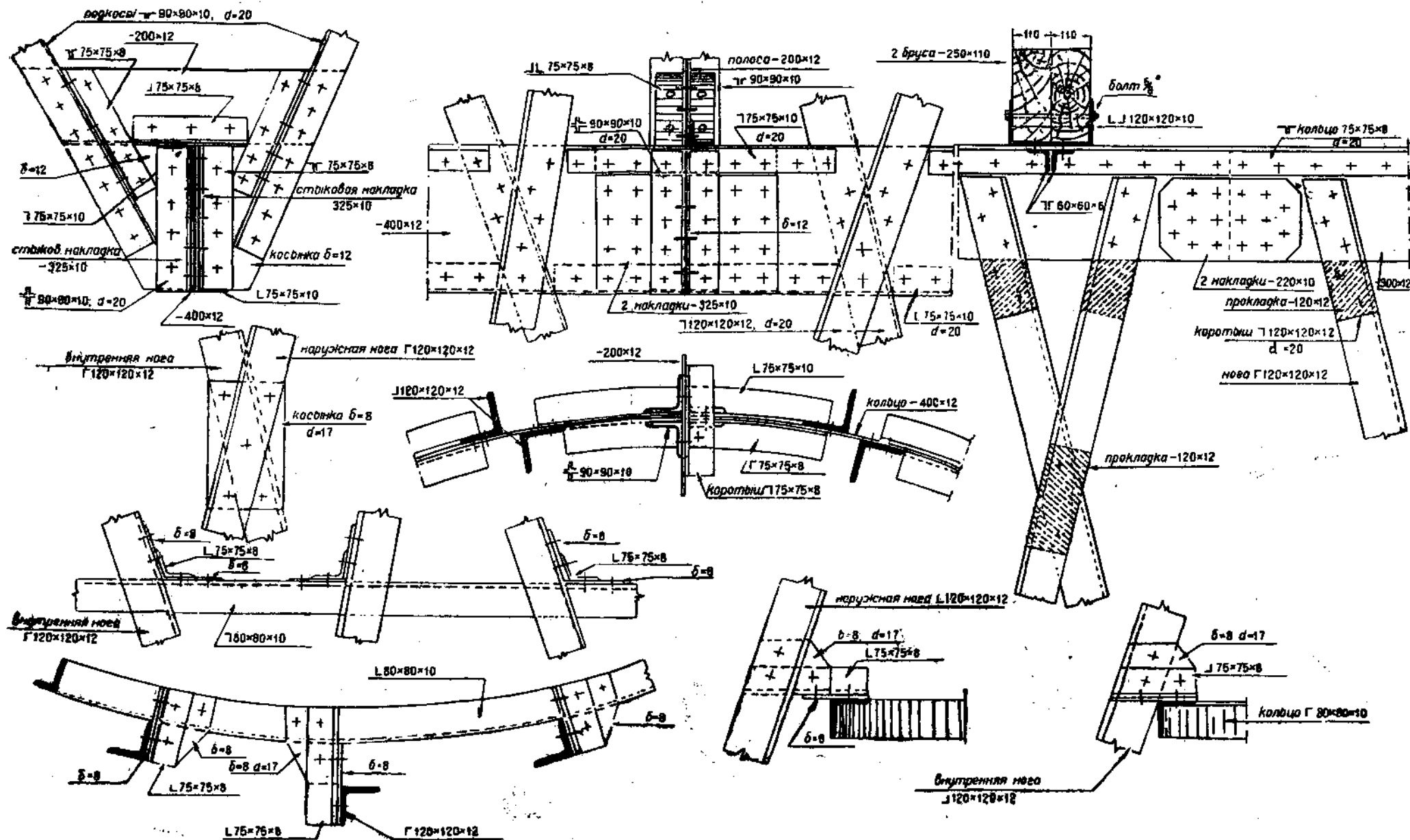
Видоподобная форма, высотой 25 м с резервуаром емкостью 535 м³



Фиг. 232



Фиг. 233



Стальные резервуары

толщ 32 м.м. Фундамент в виде кольца высотой 2,13 м, шириной внизу 0,7 м и размером сверху 0,7 м.

Общий вес башни с резервуаром составляет 66 т, из которых на долю верхнего резервуара приходится 8,8 т, на долю нижнего — 7 т.

В предыдущем были предложены опоры системы Шува под резервуары со сферическими днищами или с днищами системы Нитце. На фиг. 232 представлена конструкция такой же опоры под резервуар с плоским дном.

Высота опоры составляет 5 м от фундамента до низа резервуара. Емкость резервуара 635 м³.

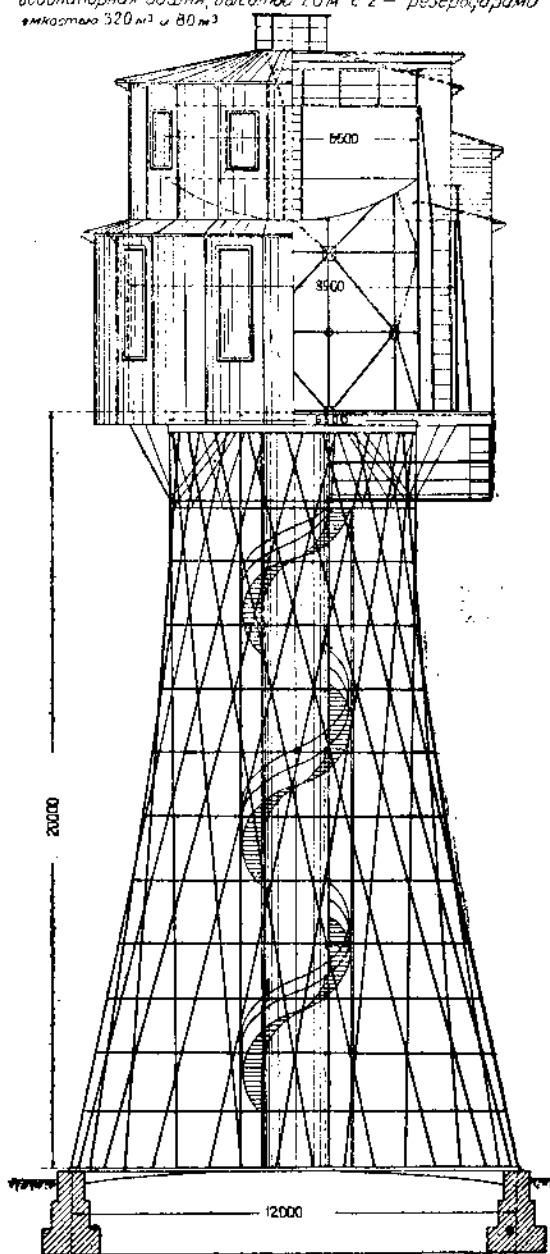
Сетка остова состоит из 8 стоек углового железа сечением $120 \times 120 \times 14$ в нижней части и $120 \times 120 \times 12$ в верхней части. Диаметр нижнего опорного кольца 14 м, диаметр верхнего кольца 7,2 м. Опорное кольцо сечением из двух угольников $100 \times 100 \times 12$ крепится к фундаменту болтами диаметром 32 м.м, число 48.

На фиг. 233 показаны размеры фундамента под опору, а также конструкция сопряжения стойки с опорным кольцом.

Фиг. 234 показывает устройство шатра вокруг резервуара, покоящегося на вершине опоры.

Балочный настил верхней площадки, на которой устанавливается резервуар, состоит, как говорилось выше, или из металлических радиальных балок или из деревянных. На чертеже общего вида показаны радиальные балки двутаврового сечения № 22; число балок 24.

*Водонапорная башня, высотой 20 м с 2^{ми} резервуарами
емкостью 320 м³ и 80 м³*



Фиг. 236

На фиг. 234, представляющей верхушку этой опоры, показана конструкция с применением радиальных балок из дерева.

Фиг. 235 представляет детали конструкции отдельных узлов сетки опоры, а также детали сопряжения внутренних колец сетки со стойками.



Фиг. 237

Общий вес башни составляет 90 т, из которых 15 т приходится на резервуар.

Пользуется также распространением схема установки на опоре одновременно двух резервуаров непосредственно один над другим. Пример такой установки показан на фиг. 236.

Высота опоры, приведенной на примере, составляет 20 м. Нижний резервуар с плоским дном емкостью 320 м³. Верхний резервуар со сферическим дном емкостью 80 м³ и расположен над нижним на особой подставке.

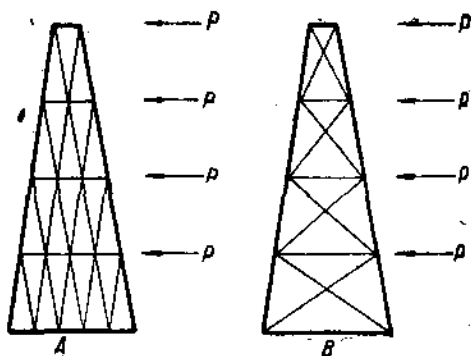
Наконец, фотография на фиг. 237 изображает башню с небольшим резервуаром с плоским дном, у которой поддерживающая радиальные балки настила часть сконструирована так, как указывалось на фиг. 228.

Своим значительным распространением башни Шухова обязаны их меньшему в сравнении с другими системами весу и, следовательно, меньшей затратой металла для их сооружения.

Главные соображения, которые были положены автором этих башен в основу гиперболической сетки, заключаются в следующем.

Если представить две конструкции *A* и *B* железных ферм, стоящих вертикально и подверженных действию горизонтальных сил (действию ветра), то простой расчет показывает, что произведение усилий, вызываемых в частях ферм, на их длину будет для *A* (сетчатой) меньше, чем для *B*, и следовательно, система *A* должна быть легче системы *B* (фиг. 238). Под влиянием же вертикальной нагрузки стойки ферм обеих систем будут напрягаться одинаково.

Переходя от этих ферм к соответствующим башням, можно сказать, что в сетчатой гиперболической башне сумма произведений усилий на



Фиг. 238

длину частей будет меньше, чем то же произведение в обыкновенной. Кроме того в гиперболических башнях усилия ветровых связей принимаются теми же элементами башни, которые поддерживают вертикальную нагрузку, а потому количество материалов, идущее на их устройство, будет меньше.

Практическое осуществление гиперболических башен также просто, так как главная работа состоит в устройстве прямых частей и только изгибание горизонтальных колец сетки из углового железа по кругам данного диаметра представляет пока дорогую работу. Эти башни требуют более точной разметки дыр заклепочных соединений ее отдельных частей. Тщательность разметки их вознаграждается простотой сборки на месте.

Эти основные обстоятельства, т. е. наименьшая затрата железа, легкий фундамент и простота сборки, создали благоприятную конъюнктуру для распространения этих башен у нас в СССР.

б) Расчет сетчатых опор. Точный расчет сетчатой опоры, как многократно статически неопределимой системы, представляет собой сложную задачу. В простой форме, вполне оправдавшей себя на практике, расчет сетчатых опор был дан Шуховым, построившим более 150 этих опор различной высоты и для различных целей, как-то: водонапорные башни для резервуаров различных емкостей, маяки, опоры переходов для линий электропередач, радиомачты и пр.

Сетчатые опоры Шухова, поддерживающие водонапорный резервуар, устанавливаемый на них, подвергаются действию следующих основных внешних сил:

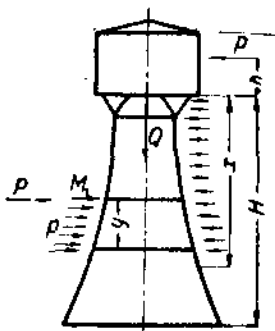
1) вертикальных сил собственного веса всего сооружения,

2) вертикальных сил веса воды, налитой в резервуар, и

3) горизонтальных сил ветра, действующего на сооружение.

а) Определение усилий в стойках сетчатой опоры.

Если фиг. 239 представляет собой рассматриваемое сооружение, то момент внешних горизонтальных сил относительно любого сечения u может быть представлен в виде



Фиг. 239

$$M_u = M_1 + Py + \frac{py^2}{2}, \quad (40)$$

где M_1 — момент в предшествующем сечении,

P — сумма текущих сил предшествующего сечения и

p — интенсивность горизонтальной нагрузки, или в виде

$$M_u = P(h + x) + p \frac{x^2}{2}, \quad (41)$$

где P — горизонтальное усилие, действующее на верхнюю часть сооружения (резервуар или шатер).

Для низа опоры

$$M = P(h + H) + p \frac{H^2}{2}. \quad (42)$$

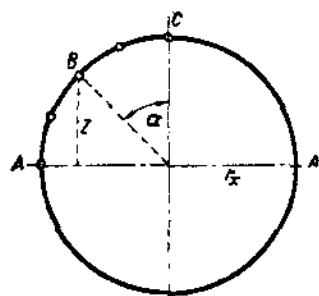
Если обозначим собственный вес верхней части башни (резервуар, площадка под него, шатер и пр.) через Q_1 , вес самой сетчатой опоры через Q_2 , вес воды, наполняющей резервуар, через Q_3 , то суммарная вертикальная нагрузка на башню будет

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Пусть число стоек сетчатой опоры будет $2n$, площадь сечения каждой стойки ω . Тогда вертикальная составляющая усилия в стойке найдется из выражения

$$S_z = \frac{Q_z}{2n} + \frac{M_z}{W} \omega, \quad (43)$$

где W — момент сопротивления рассматриваемого сечения.



Фиг. 240

и суммарный момент

Момент сопротивления сечения опоры при радиусе сечения, равном r_x , определяется из следующих соображений (фиг. 240): если напряжение материала стойки C будет K , то напряжение материала стойки B соответственно равно $K \cdot \frac{z}{r_x} = K \cdot \cos \alpha$. Следовательно, усилие, воспринимаемое стойкой, равно $K \cdot \omega \cdot \cos \alpha$.

Момент усилий, воспринимаемых стойками относительно оси AA , будет

$$K \cdot \omega \cdot r_x \cdot \cos^2 \alpha$$

$$K \cdot \omega \cdot r_x \cdot 2 \sum \cos^2 \alpha = W \cdot K.$$

Но $\sum \cos^2$ ряда углов α , 2α и $n\alpha$ равна $\frac{n}{2}$. В самом деле, каждому углу α , 2α , 3α и т. д. соответствуют углы $90^\circ \pm \alpha$, $90^\circ \pm 2\alpha$ и т. д.

$\sum \cos^2$ двух дополнительных углов равна единице, т. е.

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 (90^\circ - \alpha) = 1; \cos^2 2\alpha + \cos^2 (90^\circ - 2\alpha) = 1.$$

Следовательно, сумма квадратов косинусов n -углов будет равна $\frac{n}{2}$; откуда $W = n \cdot \omega \cdot r_x$ и ур-ние (43) может быть представлено в виде

$$S_z = \frac{1}{n} \left(\frac{Q_z}{2} + \frac{M_z}{r_x} \right). \quad (44)$$

Для пиза опоры

$$S = \frac{1}{n} \left(\frac{Q}{2} + \frac{M}{r} \right), \quad (45)$$

где r — радиус опорного кольца сетки,

n — половинное число всех стоек.

Величина p интенсивности горизонтальной нагрузки на единицу высоты остова при определении M равна

$$p = q \cdot 2na,$$

где $2na$ — площадь стоек, подверженная давлению ветра,

q — давление ветра на 1 кв. единицу площади стоек.

Получаемое по ф-ле (45) усилие представляет собой, как было связано ранее, вертикальную составляющую усилия в стойке.

Так как стойка сетчатой опоры имеет не перпендикулярное положение по отношению к горизонтальной плоскости, а наклонное, то действительное усилие в ней определится из выражения

$$S_g = S \frac{\sqrt{H^2 + b^2}}{H}, \quad (46)$$

где H — высота сетки,

b — проекция стойки на горизонтальную плоскость, проходящую через опорное кольцо сетки (фиг. 241).

Величина $b = \sqrt{r^2 + r_0^2 - 2 \cdot r \cdot r_0 \cos \varphi}$.

Отношение $\sqrt{H^2 + b^2} : H$ обычно составляет в сетчатых опорах Шухова 1,03—1,05.

Действительное напряжение материала в стойке будет определяться из выражения

$$K = \frac{S_g}{\omega \varphi}, \quad (47)$$

где φ — коэффициент уменьшения основного напряжения, принимаемый по таблице в зависимости от гибкости λ , равной $\lambda = l : \rho$, причем l — свободная длина стойки (расстояние между горизонтальными кольцами остова);

ρ — наименьший радиус инерции сечения стойки.

К этому напряжению прибавляется еще напряжение от местного изгиба стойки, определяемое по формуле

$$M_m = \frac{q \cdot a^2}{24}.$$

3) Определение усилий в кольцах. Горизонтальные промежуточные кольца сетки рассчитываются на отпорное усилие, принимаемое в 1—2% от максимального усилия S_g по стойке.

Нижнее опорное кольцо рассчитывается на растягивающие усилия, действующие нормально к кольцу в местах сопряжения его со стойками.

Величина нормальных усилий, действующих на кольцо, равна

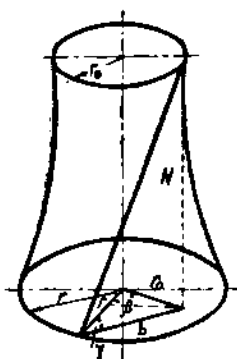
$$t = \frac{b}{\sqrt{H^2 + b^2}} \cdot S_g \cdot \cos \gamma.$$

Число сил $2n$; следовательно, усилие, разрывающее нижнее опорное кольцо, будет

$$\tau = \frac{t \cdot 2n}{2\pi} = \frac{t \cdot n}{\pi}. \quad (48)$$

γ) Фундаментные болты. Опорное кольцо башни связывается с фундаментом болтами, заанкеренными в фундамент.

Действие болтов наступит в том случае, когда момент от горизонталь-



Фиг. 241

ных сил на башню будет больше момента от собственного веса башни при пустом резервуаре относительно края кольца (фиг. 242). Так как опорное кольцо в связи со стойками башни представляет систему вполне жесткую, то можно с достаточной точностью определить напряжение болтов, полагая вращение башни около точки A .

Момент инерции всей группы болтов, расположенных по окружности, равен

$$I_{AA} = \omega \cdot n \cdot r^2 + 2\omega n \cdot r^2 = 3\omega n \cdot r^2,$$

где ω — площадь сечения болта,

$2n$ — число болтов.

Момент сопротивления болтов

$$W = \frac{3}{2} \omega n r.$$

Момент, действующий на болты,

$$M_b = M - M_0,$$

где M — наибольший момент от горизонтальных сил, действующих на башню;

M_0 — момент от собственного веса башни при пустом резервуаре, равный

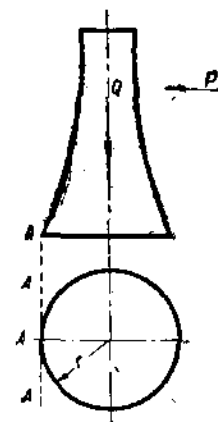
$$M_0 = (Q_1 + Q_2) r.$$

Усилие, разрывающее болт,

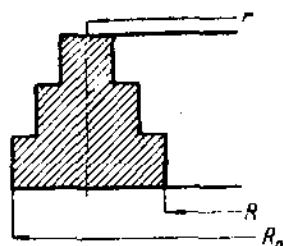
$$\omega \cdot K = \frac{2M_b}{3 \cdot n \cdot r}. \quad (49)$$

Практически болты рассчитывают по следующему равенству

$$T = \frac{M}{n \cdot r} - \frac{Q_1 + Q_2}{2n}. \quad (50)$$



Фиг. 242



Фиг. 243

б) Фундамент под башню. Фундамент под башню делается в виде кольцевой кладки (фиг. 243), бетонной или каменной.

Усилия, действующие на фундамент, будут: изгибающий момент от горизонтальных сил относительно подошвы фундамента M_1 ; вес устройства башни и налитой воды Q ; вес фундамента и грунта над ним Q_0 ; суммарный вес $Q_0 = Q_0 + Q$.

Площадь прилегания фундамента к грунту

$$\Omega = \pi (R_0^2 - R^2).$$

Момент сопротивления кольцевой площади прилегания

$$W = \frac{\pi}{4} (R_0^4 - R^4) \frac{1}{R_0}$$

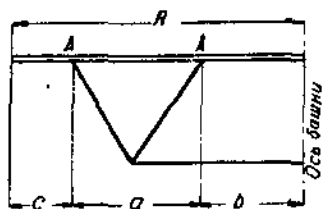
и величина давления на грунт от сооружения

$$K = \frac{Q_0}{\Omega} \pm \frac{M_1}{W}. \quad (51)$$

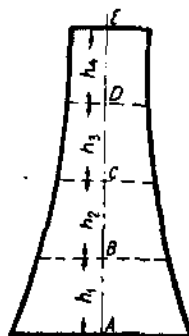
е) Коэффициент устойчивости. Коэффициент устойчивости башни определяется из выражения

$$\gamma = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot r}{M_1} \quad (52)$$

г) Верх сетчатой опоры. В том случае когда радиальные балки настила, на котором располагается резервуар, опираются на верхнее кольцо сети, как это было показано на фиг. 226, расстояния c , b и a от концов балок до поддерживающих их наклонных сеток и между наклонными стойками (фиг. 244) определяются из следующих соображений: величины a , b и c должны быть так подобраны, чтобы моменты в консолях b и c и в середине a балки были бы равны. Это условие дает равенства¹



Фиг. 244



Фиг. 245

$$\frac{b^3}{3} = \frac{[(a+b)^2 - b^2]a}{6} - \frac{b^3}{3} \quad (53)$$

и

$$\frac{[(c+a+b)^2 - (a+b)^2] \cdot (2c+3a+3b)}{c+2a+2b} \cdot \frac{c}{3} = \frac{b^3}{3} \quad (54)$$

Решая уравнения (53) и (54), получим

$$c = 0,138 R; \quad a = 0,483 R; \quad b = 0,379 R \quad (55)$$

д) Прогиб сетчатой опоры. Прогиб сетчатой башни может быть достаточно точно определен на основании следующих соображений.

Для определения стрелки прогиба разделяем башню на m частей, имеющих каждая постоянное сечение стоек и среднее значение момента инерции I каждой части (фиг. 245).

Момент инерции сечения башни равен

$$I = n\omega \cdot r^2,$$

где n — половина числа стоек

Для каждой части прогиб определяется по следующему правилу.

Определяется прогиб нижней части $AB \dots y_1$ и $\operatorname{tg} \alpha_1$ угла наклона кривой в точке B .

Для части BC определяем самостоятельно (принимая сечение B горизонтальным) прогиб y_2 и $\operatorname{tg} \alpha_2$ угла наклона в точке C .

Тогда действительное отклонение точки C от вертикали будет

$$f_2 = y_1 + y_2 + h_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1.$$

¹ В случае загрузки всей площади круга радиуса R нагрузкой, интенсивность которой одинакова на единицу площади круга, по всему кругу.

Обозначая самостоятельный прогиб части CD через y_2 , получим действительное отклонение точки D от вертикали

$$f_3 = f_2 + y_2 + h_2 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \text{ и т. д.}$$

для

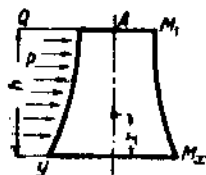
$$f_m = f_{m-1} + y_m + h_m (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_{m-1})$$

или

$$f_m = f_{m-1} + y_m + h_m \sum_1^{m-1} \operatorname{tg} \alpha.$$

Определение самостоятельного прогиба y_m и $\operatorname{tg} \alpha_m$ делается на основании общего уравнения упругой линии.

Если в произвольном сечении (фиг. 246) момент внешних сил обозначим через M_x , то



Фиг. 246

$$M_x = M_1 + \frac{p(h-x)^2}{2} + Q(h-x);$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha_x = \int_0^x \frac{M_x dx}{EI} + C \text{ (тангенс угла в точке } A);$$

$$y_x = \int_0^x \operatorname{tg} \alpha_x dx + C \cdot x + C_1;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{EI} \left[M_1 + \frac{ph^2}{6} + Q \frac{h}{2} \right] + C = \lambda + C,$$

где C — для нижней части у опоры равно нулю, а для каждой последующей $C = \sum \operatorname{tg} \alpha$ всех предыдущих частей.

Стрелка прогиба рассматриваемой части будет

$$f = y + hC + D = \frac{h^2}{2EI} \left(M_1 + \frac{ph^2}{4} + \frac{2}{3} Qh \right) + hC + D, \quad (56)$$

где D — стрелка прогиба каждой предыдущей части.

в) Пример расчета башни. В качестве примера приводим расчет одной из построенных башен, изображенной на приводимом чертеже (фиг. 247).

Основные данные

высота сетки H	28,5 м
емкость резервуара	625 м ³
диаметр нижнего кольца сетки $2R$	14,6 м
» верхнего кольца сетки	7,2 »
число стоек сетки	50

Размеры деревянного шатра вокруг резервуара

диаметр шатра	12,1 м
высота цилиндрической части шатра	8,2 »
» конической крыши	1,8 »
диаметр площадки наверху шатра	3 »

Определение внешних сил.

Давление ветра на башню.

По Единым нормам ветровая нагрузка определяется по формуле

$$P_s = K(P_s^* + K_1 h).$$

Величина P_e — значения давления ветра на уровне земли — равна для данного района, в котором располагается башня,

$$P_e = 50 \text{ кг/м}^2.$$

Расчетный коэффициент K_1 для шатра равен

$$K_1 = 1 - 0,33 \frac{10}{38,5} = 0,914,$$

где 10 м — высота всего шатра,

38,5 м — полная высота сетки и шатра.

Расчетный коэффициент K_1 для сетки равен

$$K_1 = 1 - 0,33 \frac{28,5}{38,5} = 0,76.$$

Коэффициент обтекания K принят для шатра

$$K = 0,6.$$

Коэффициент обтекания K для стоек сетки принят

$$K = 1,5.$$

Следовательно, давление ветра на башню будет: на шатер

$$P_e = 0,6(50 + 0,914 \cdot 38,5) = 50 \text{ кг/м}^2;$$

на сетку

$$P_e = 1,5(50 + 0,76 \cdot 28,5) = 107 \text{ кг/м}^2.$$

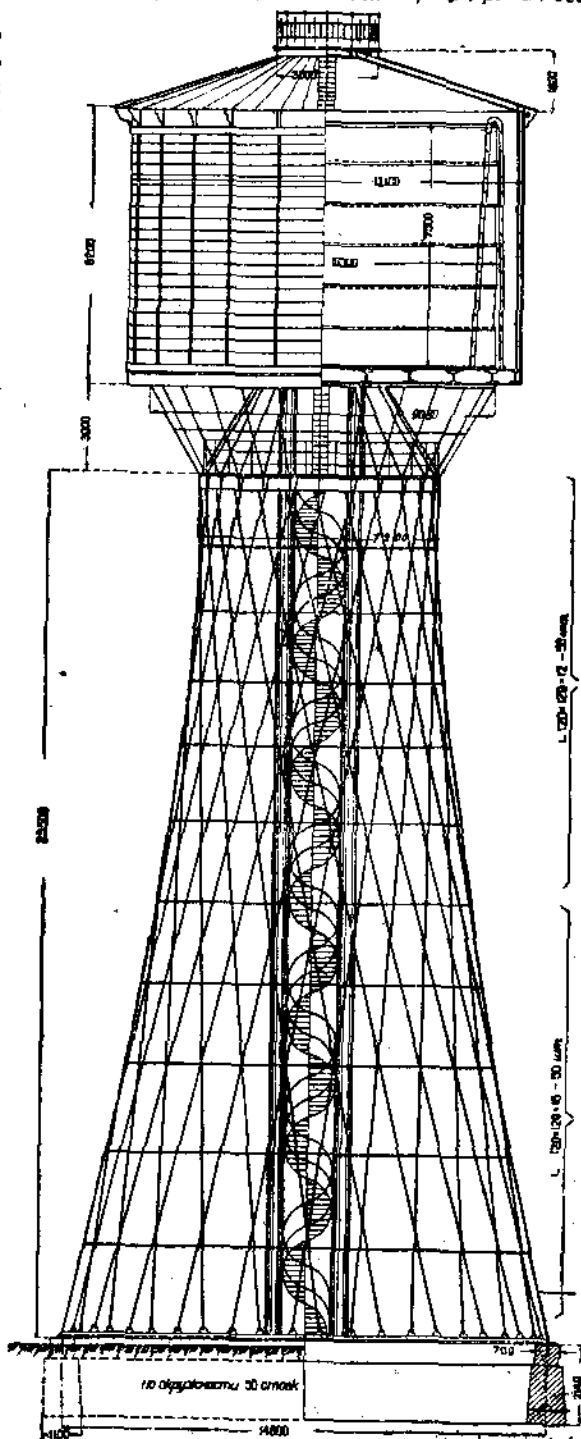
Принято для расчета

$$P_e = 110 \text{ кг/м}^2.$$

Давление ветра на шатер

$$\begin{aligned} & 0,05 \cdot (12,1 \cdot 8,2 + \\ & + \frac{12,1 + 3}{2} \cdot 1,8) = \\ & = 0,05(100 + 14) = 5,7 \text{ т.} \end{aligned}$$

Водомоторная башня, высотой 28,5 м с радиусом шира 625 см



Фиг. 247

Расстояние центра этого давления до низа шатра

$$\frac{1}{114} \left[100 \cdot 4,1 + 14 \left(8,2 + \frac{12,1 + 2 \cdot 3 \cdot 1,8}{12,1 + 3} \right) \right] = \frac{1}{114} (410 + 125) = 4,7 \text{ м.}$$

Давление ветра на 1 м высоты остова, состоящего из 50 стоек сечением каждая из углового железа 120×120

$$0,11 \cdot 0,12 \cdot 50 = 0,66 \text{ т.}$$

Давление ветра на 1 м высоты кожухов для труб $d = 0,6 \text{ м}$

$$0,05 \cdot 0,6 \cdot 2 = 0,06 \text{ т.}$$

Давление ветра на 1 м высоты лестницы, считая площадь ее, подверженную давлению ветра, на 1 м высоты равной 1 м^2

$$0,11 \cdot 1 = 0,11.$$

Суммарное давление на 1 м высоты остова

$$p = 0,66 + 0,06 + 0,11 = 0,83.$$

Принимаем для расчета $p = 0,9 \text{ т}$, учитывая давление ветра на кольца сетки.

Изгибающий момент башни внизу у опорного кольца по ф-ле (42)

$$M = 5,7 (28,5 + 4,7) + \frac{0,9 \cdot 28,5^2}{2} = 190 + 366 \approx 560 \text{ тм.}$$

Вес резервуара и шатра $Q_1 = 45 \text{ т}$

» остова башни . . . $Q_2 = 80 \text{ »}$

» воды в резервуаре . $Q_3 = 625 \text{ »}$

Итого . . . $Q = 750 \text{ т}$

Определение усилий и напряжений в элементах башни.

а) Вертикальная составляющая усилия сжатия стойки остова внизу у опорного кольца от действия изгибающего момента M и вертикальной нагрузки Q определяется по ур-нию (45) и будет равна

$$S = \frac{1}{25} \left(\frac{750}{2} + \frac{560}{7,3} \right) = 18,1,$$

где 25 — половинное число стоек; 7,3 м — радиус опорного кольца.

Высота гиперболоидальной сетки башни до подкосов составляет 25,5 м. Проекция стойки на горизонтальную плоскость опорного кольца (фиг. 241)

$$b = \sqrt{7,3^2 + 3,6^2} - 2 \cdot 7,3 \cdot 3,6 \cdot 0,425 = 6,623 \text{ м,}$$

где $0,425 = \cos \beta$.

Длина стойки $\sqrt{25,5^2 + 6,623^2} = 26,346 \text{ м.}$

Величина усилий по стойке определится из ур-ния (46)

$$S_g = 18,1 \cdot \frac{26,346}{25,5} = 18,7 \text{ т.}$$

Сечение стойки внизу принято: угольник $120 \times 120 \times 16$;

площадь сечения уголка: $\omega = 36 \text{ см}^2$;

свободная длина стойки: $l = 270 \text{ см}$;

наименьший радиус инерции: $\rho = 2,34 \text{ см}$;

гибкость стойки: $\lambda = 270 : 2,34 = 115$;

$$\varphi = 0,482.$$

Следовательно, напряжению материала стойки

$$K = \frac{18700}{36 \cdot 0,482} = 1080 \text{ кг/см}^2.$$

Сечение остова сетки на высоте 12,8 м от низа

$$M = 5,7 \cdot 20,4 + \frac{0,9 \cdot 15,7^2}{2} = 116 + 111 = 227 \text{ т.м.}$$

Вес $Q_1 = 45 \text{ т}$

$Q_2 = \frac{15,7}{28,5} 80 = 44 \text{ т}$

$Q_3 = 625 \text{ т}$

Итого $Q = 714 \text{ т}$

Величина

$$S = \frac{1}{25} \left(\frac{714}{2} + \frac{227}{4,7} \right) = 16,2 \text{ т,}$$

где 4,7 м — радиус рассматриваемого сечения остова.

Величина

$$S_g = 16,3 \cdot 1,03 = 16,7 \text{ т.}$$

Сечение стойки в рассматриваемом сечении: угольник $120 \times 120 \times 12$.

Площадь сечения $\omega = 27,5 \text{ см}^2$, свободная длина стойки $l = 240 \text{ см}$, наименьший радиус инерции $\rho = 2,34 \text{ см}$.

$$\lambda = 240 : 2,34 = 102; \quad \varphi = 0,557.$$

Напряжение материала стойки в рассматриваемом сечении

$$K = \frac{16700}{27,5 \cdot 0,557} = 1090 \text{ кг/см}^2.$$

В остальной части остова сечение стоек принято то же.

б) Нижнее опорное кольцо.

Величина нормальных усилий, действующих на кольцо

$$t = \frac{6,623}{26,346} 18,7 \cdot 0,866 = 4,1 \text{ т,}$$

где $0,866 = \cos \gamma$ (фиг. 241).

Усилие, разрывающее нижнее опорное кольцо, по ур-нию (48)

$$\tau = \frac{4,1 \cdot 25}{3,14} = 33 \text{ т.}$$

Сечение опорного кольца: два угольника $120 \times 120 \times 12$.

Площадь сечения $\omega_{\text{брутто}} = 27,5 \times 2 = 55 \text{ см}^2$.

Площадь сечения $\omega_{\text{нетто}}$ при диаметре заклепочных отверстий 20 мм

$$\omega_{\text{нетто}} = 50,2 \text{ см}^2.$$

Напряжение кольца на разрыв $K = 33000 : 50,2 = 660 \text{ кг/см}^2$.

Наибольшая вертикальная слагающая усилия сжатия стойки у опорного кольца по предыдущему равна 18,1 т.

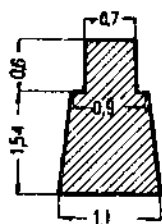
Необходимая площадь опорной плиты под каждой стойкой

$$18100 : 10 = 1810 \text{ см}^2$$

при каменной кладке фундамента, допускающей давление в 10 кг/см^2 .

В случае если опорное кольцо достаточно сильное, опорных плит не ставится и передача давления от стоек на кладку фундамента производится непосредственно через кольцо.

γ) Фундаментные болты. Число фундаментных болтов 50; диаметр их 32 мм. Усилие в фундаментных болтах по ф-ле (50)



Фиг. 248

$$T = \frac{560}{25 \cdot 7,3} - \frac{125}{50} = 3,1 - 2,5 = 0,6 \text{ т.}$$

Сечение болта $\omega = 5,7 \text{ см}^2$ и напряжение болта на разрыв

$$K_s = 600 : 5,7 = 106 \text{ кг/см}^2.$$

δ) Фундамент под башню. Фундамент башни состоит из каменной кладки и имеет размеры, показанные на фиг. 248.

Вес фундамента и грунта над ним

$$Q_0 = \pi \cdot 14,6 \cdot \{(0,6 \cdot 0,7 + 1 \cdot 1,54) \cdot (1,8 - 1,6) + 1,1 \cdot 2,14 \cdot 1,6\} = 191 \text{ т.}$$

Вес башни с водой и фундаментом

$$Q_0 = 750 + 191 = 941 \text{ т.}$$

Изгибающий момент относительно подошвы фундамента

$$M_1 = 560 + (5,7 + 0,9 \cdot 28,5) \cdot 2,14 = 628 \text{ тм.}$$

Площадь прилегания фундамента к грунту

$$Q = \pi (7,85^2 - 6,75^2) = 50,45 \text{ м}^2.$$

Момент сопротивления кольцевой площади прилегания

$$W = \frac{\pi}{4} (7,85^4 - 6,75^4) \frac{1}{7,85} = 174 \text{ м}^3.$$

Величина давления на грунт от башни по ф-ле (51)

$$K = \frac{941\,000}{504\,500} + \frac{62\,800\,000}{174\,000\,000} = 1,87 + 0,36 = 2,23 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент устойчивости башни по ф-ле (52)

$$\eta = \frac{(125 + 191) \cdot 7,3}{628} = 3,67.$$

г) Расчет геометрической схемы сетчатых опор. Для расчета геометрической схемы сетчатой гиперболической опоры следует иметь следующие данные:

R — радиус основания опоры,
 r — радиус верхнего кольца,
 H — высота сетчатой опоры,
 n — число стоек опоры,
 m — число пересечений по стойке.

Стойки сетки расположены на равных расстояниях друг от друга как по окружности нижнего основания, так и по верхнему кольцу.

Нижеследующие геометрические элементы являются необходимыми при составлении рабочих чертежей (шаблонов) сетчатой гиперболической опоры (фиг. 249).

1. Угол Ω

$$\Omega = m \cdot 2\alpha. \quad (57)$$

Угол Ω при расположении стоек на равных расстояниях друг от друга по нижнему кругу и по верхнему кольцу всегда кратен углу α .

Угол $\alpha = \frac{360^\circ}{2n}$, где n — число стоек.

Стойки расположены по нижнему и верхнему кругам на расстоянии $2r$, умноженном на радиус окружности (фиг. 250).

Следовательно, угол Ω при m пересечениях равен

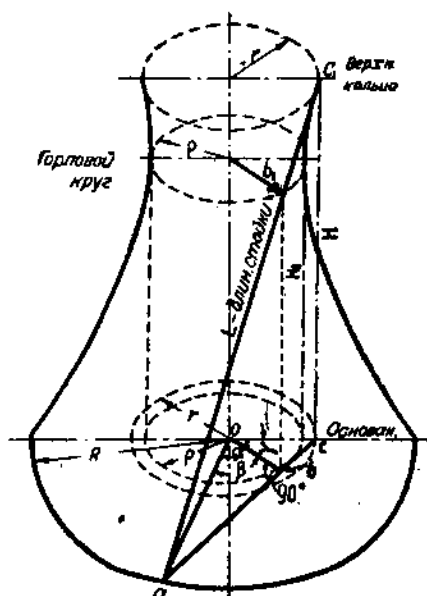
$$\Omega = \alpha + (m - 1) 2\alpha + \alpha = m \cdot 2\alpha.$$

Зная угол Ω , определяем $\sin \Omega$ и $\cos \Omega$.

Любому пересечению соответствует центральный угол

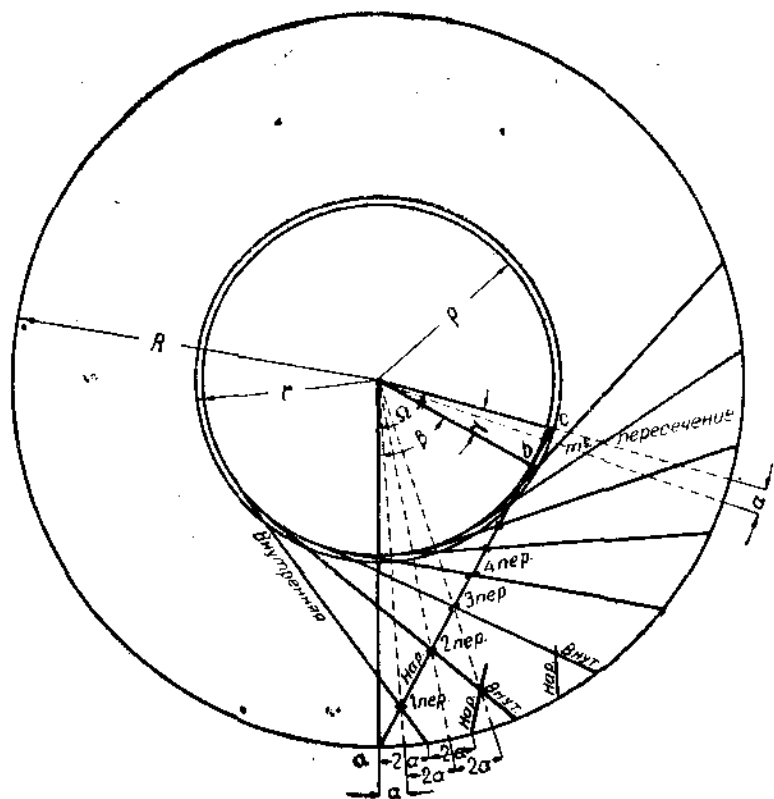
$$\varphi_x = \alpha + (x - 1) 2\alpha,$$

где x имеет значения от единицы до m .



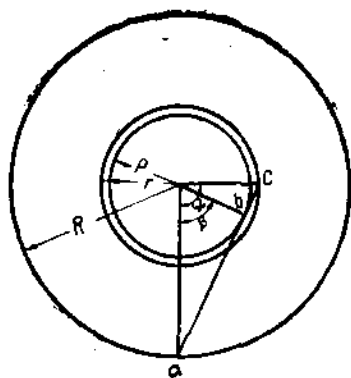
Фиг. 249

Например, для 1-го пересечения $x=1$ и $\varphi_1=\alpha$; для 2-го пересечения $x=2$ и $\varphi_2=3\alpha$ и т. д. и для m -го пересечения $x=m$ и $\varphi_m=\alpha(2m-1)$.

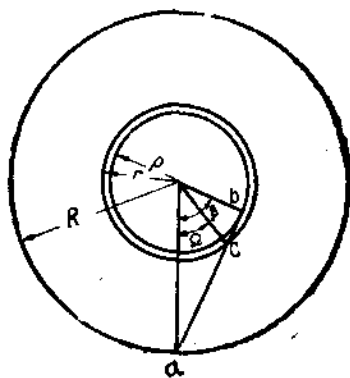


[Фиг. 250.]

II. Величина ac — проекции наклонной стойки на плоскость нижнего основания.



Фиг. 251



Фиг. 252

Различают два случая:

1) когда горловой круг ниже верхнего кольца, т. е. когда угол Ω больше угла β (фиг. 251);

2) когда горловой круг выше верхнего кольца, т. е. когда угол Ω меньше угла β (фиг. 252).

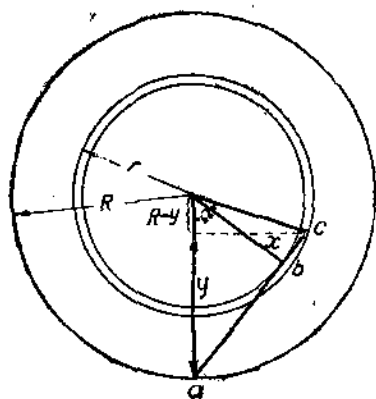
В этом случае горловой круг воображаемый — фиктивный, так как в такой башне он в действительности не существует: она отсечена до горлового круга.

Для 1-го и 2-го случаев, а также при остром или тупом угле Ω величина ac равна

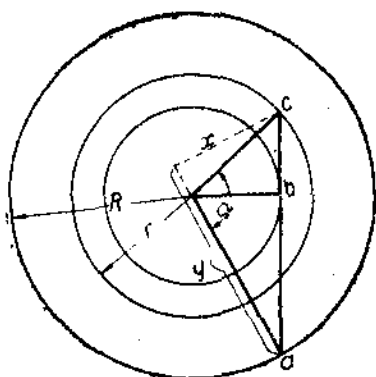
$$ac = \sqrt{R^2 + r^2 - 2R \cdot r \cdot \cos \Omega}. \quad (58)$$

Вывод. Случай острого угла Ω (фиг. 253)

$$ac^2 = x^2 + y^2$$



Фиг. 253



Фиг. 254

и

$$r^2 = x^2 + (R - y)^2;$$

отсюда

$$r^2 = ac^2 + R^2 - 2Ry$$

или

$$ac^2 = r^2 - R^2 + 2Ry,$$

$$ac^2 = r^2 + R^2 - 2R(R - y).$$

Подставляя $R - y = r \cos \Omega$, получим ф-лу (58).

Случай тупого угла Ω (фиг. 254)

$$ac^2 = x^2 + y^2; \quad r^2 = x^2 + (y - R)^2,$$

$$r^2 = ac^2 + R^2 - 2Ry$$

или

$$ac^2 = r^2 - R^2 + 2Ry,$$

$$ac^2 = r^2 + R^2 + 2R(y - R);$$

но

$$y - R = r \cdot \cos(180^\circ - \Omega) = -r \cos \Omega.$$

Подставляя вместо $y - R$ указанную величину, получим ф-лу (58).

III. Определение угла β (фиг. 255). Угол

$$\beta = 90^\circ - \lambda; \quad (59)$$

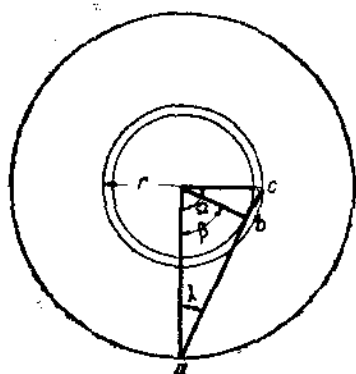
$$\frac{\sin \lambda}{r} = \frac{\sin \Omega}{ac}; \quad \sin \lambda = \frac{r \cdot \sin \Omega}{ac};$$

отсюда определяем угол λ .

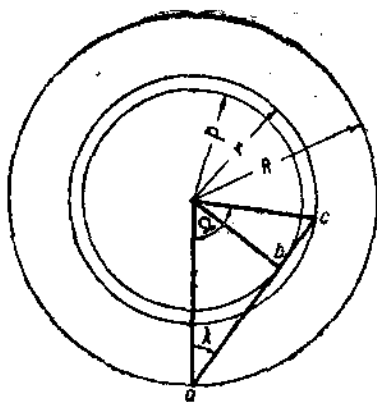
Зная λ , находим β и величины $\sin \beta$ и $\cos \beta$.

IV. Радиус горлового круга ρ . Для первого случая, когда горловой круг ниже верхнего кольца сетки, и для второго случая, когда сетка отсечена ниже горлового круга, имеем

$$\rho = \frac{R \cdot r \cdot \sin \Omega}{ac}. \quad (60)$$



Фиг. 255



Фиг. 256

Определяем также величины ρ^2 , $R^2 - \rho^2$ и $\sqrt{R^2 - \rho^2}$, которые будут часто встречаться в дальнейшем расчете (фиг. 256 и 257).

Вывод

$$\frac{ac}{\sin \Omega} = \frac{r}{\sin \lambda};$$

но

$$\rho = R \cdot \sin \lambda;$$

отсюда

$$\frac{ac}{\sin \Omega} = \frac{R \cdot r}{\rho}$$

и ф-ла (60) для ρ .

V. Полная длина стойки L

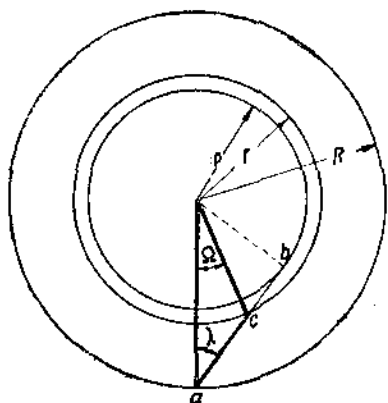
$$L = \sqrt{H^2 + ac^2}. \quad (81)$$

VI. Высота от низа до горлового круга

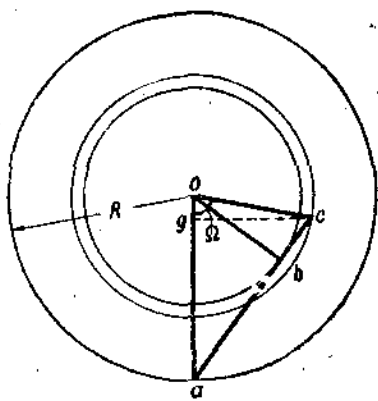
$$H_1 = H \frac{R^2 - R \cdot r \cdot \cos \Omega}{ac^2}. \quad (82)$$

Вывод. Из подобия треугольников abb_1 и acc_1 (фиг. 249) имеем:

$$\frac{H_1}{H} = \frac{ab}{ac} \text{ или } H_1 = \frac{ab}{ac} H.$$



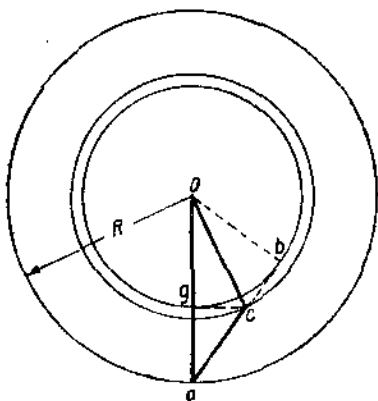
Фиг. 257



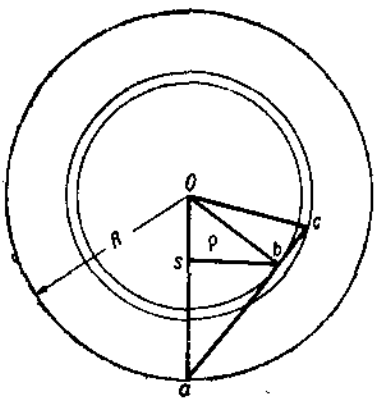
Фиг. 258

Далее, из подобия треугольников abo и acg для 1-го случая (фиг. 258) и для 2-го случая (фиг. 259) находим

$$\frac{ab}{R} = \frac{ag}{ac}; \text{ но } ag = R - og;$$



Фиг. 259



Фиг. 260

но

$$og = r \cdot \cos \Omega \text{ и } ag = R - r \cdot \cos \Omega;$$

следовательно,

$$ab = R \frac{ag}{ac} = R \frac{R - r \cos \Omega}{ac} = \frac{R^2 - Rr \cdot \cos \Omega}{ac}.$$

Из этих равенств получаем ф-лу (62).

VII. Угол наклона плоскости, касательной к гиперболе в данной точке, к горизонтальной плоскости.

Угол наклона опорных косынок

$$\operatorname{tg} E_0 = \frac{H_1 R}{R^2 - \rho^2}. \quad (63)$$

Вывод (фиг. 260)

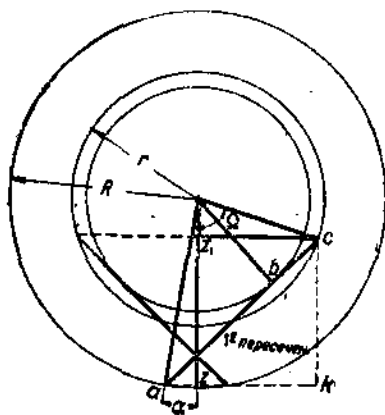
$$\operatorname{tg} E_0 = \frac{H_1}{as}.$$



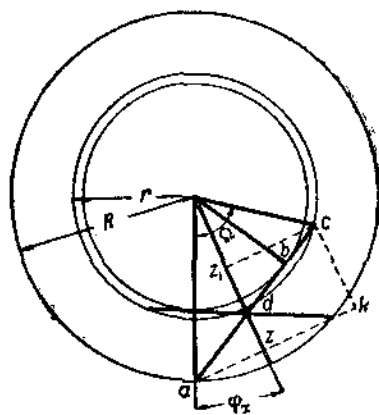
Из подобия треугольников aob и abs имеем

$$\frac{as}{ab} = \frac{ab}{R} \text{ и } as = \frac{ab^2}{R} = \frac{R^2 - \rho^2}{R},$$

откуда получаем ф-лу (63).



Фиг. 261



Фиг. 262

VIII. Угол наклона стойки в плоскости опорных косынок к горизонтали

$$\cos \mu = \frac{R \sin \alpha + r \sin (\Omega - \alpha)}{L}. \quad (64)$$

Вывод (фиг. 261)

$$\cos \mu = \frac{ak}{L};$$

но

$$ak = az + zk; \quad az = R \sin \alpha; \quad zk = ez_1; \quad ez_1 = r \sin (\Omega - \alpha);$$

следовательно

$$ak = R \sin \alpha + r \sin (\Omega - \alpha),$$

откуда имеем ф-лу (64).

IX. Величина отрезков стойки по длине ее, считая от низа до соответствующего пересечения, определяется формулой

$$l_{o-z} = L \cdot \frac{r \sin \varphi_x}{R \sin \varphi_x + r \sin (\Omega - \varphi_x)}. \quad (65)$$

Вывод (фиг. 262).

Из подобия треугольников находим, что длина отрезка по стойке от низа до любого пересечения так относится к длине всей стойки, как

проекция этого отрезка на плоскость нижнего основания к проекции всей стойки на ту же плоскость, т. е.

$$\frac{l_{a-x}}{L} = \frac{ad}{ac}.$$

Из подобия треугольников adz и ack находим

$$\frac{ad}{ac} = \frac{az}{ak},$$

где

$$ak = az + zk;$$

но

$$az = R \cdot \sin \varphi_x,$$

а

$$zk = z_1 c = r \sin (\Omega - \varphi_x);$$

следовательно

$$\frac{ad}{ac} = \frac{R \sin \varphi_x}{R \sin \varphi_x + r \sin (\Omega - \varphi_x)};$$

отсюда ф-ла (65).

Значение φ_x см. п. I.

Если бы мы определяли длину отрезков по стойке, идя сверху от верхнего конца стойки до любого пересечения, то имели бы

$$l_{aepx-x} = L \cdot \frac{r \cdot \sin (\Omega - \varphi_x)}{R \sin \varphi_x + r \sin (\Omega - \varphi_x)} \quad (66)$$

Вывод

$$\frac{l_{aepx-x}}{L} = \frac{cd}{ac},$$

но

$$\frac{cd}{ac} = \frac{cz_1}{ak}$$

(следует из подобия треугольников cdz_1 и ack),

$$\begin{aligned} cz_1 &= r \sin (\Omega - \varphi_x), \\ ak &= az + kz = R \sin \varphi_x + r \sin (\Omega - \varphi_x), \end{aligned}$$

откуда имеем ф-лу (66).

Отрезки между пересечениями определяются как разности отрезков, определенных каждый раз от низа стойки или верха ее до заданных пересечений.

X. Высоты от основания башни или от верхнего кольца до соответствующих пересечений определяются из соотношения:

$$\frac{h_{0-x}}{H} = \frac{l_{0-x}}{L} \quad \text{или} \quad \frac{h_{x-x}}{H} = \frac{l_{x-x}}{L} \quad (67)$$

(основано подобно предыдущему на подобии треугольников).

XI. Длины отрезков по стойке между кольцами:

от низа до I кольца $l_{0-k_1} = \frac{h_{0-k_1}}{H} L$;

от I до II кольца $l_{k_1-k_2} = \frac{h_{k_1-k_2}}{H} L$;

от II до III кольца $l_{k_2-k_3} = \frac{h_{k_2-k_3}}{H} L$ и т. д.

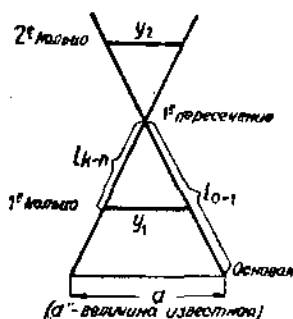
Здесь h_{0-k_1} — высота от низа до I кольца;
 $h_{k_1-k_2}$ — высота от I кольца до II и т. д. (основано подобно предыдущему на подобии треугольников).

ХП. Хорды по кольцам определяют также из подобия треугольников, пользуясь уже определенными ранее длинами отрезков стойки до пересечения и до колец и между ними (фиг. 263)

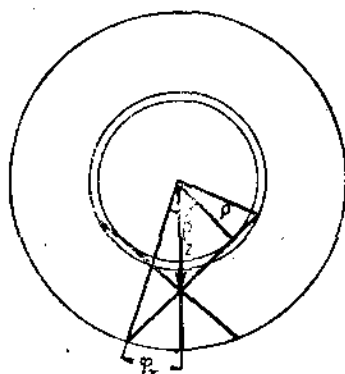
$$\frac{y_1}{a} = \frac{l_{k-n}}{l_{0-1}}, \quad y_1 = a \cdot \frac{l_{k-n}}{l_{0-1}} \text{ и т. д.}$$

ХПІ. Радиусы окружностей, соответствующие пересечениям (фиг. 264):

$$e = \frac{\rho}{\cos(\beta - \varphi_x)}. \quad (68)$$



Фиг. 263



Фиг. 264

ХІV. Радиусы колец определяются по формуле

$$U_x = \sqrt{\frac{R^2 - \rho^2}{H_1^2} h_x^2 + \rho^2}, \quad (69)$$

где h_x — высота от горлового круга до рассматриваемого кольца.

Вывод (фиг. 265)

$$U_x^2 = \rho^2 + a_1 b^2,$$

но

$$\frac{a_1 b}{ab} = \frac{h_x}{H_1}.$$

Возводя в квадрат, получим

$$\frac{a_1 b^2}{ab^2} = \frac{h_x^2}{H_1^2}$$

и

$$a_1 b^2 = ab^2 \frac{h_x^2}{H_1^2},$$

но

$$ab^2 = R^2 - \rho^2;$$

следовательно

$$a_1 b^2 = (R^2 - \rho^2) \frac{h_x^2}{H_1^2},$$

откуда получится уравнение (69) для U_x .

XV. Тангенсы углов, образуемых касательной к гиперболе в точках, соответствующих промежуточным кольцам, определяются по ф-ле:

$$\operatorname{tg} E_x = \frac{H_1 \cdot U_x}{\sqrt{\frac{R^2 - \rho^2}{H_1^2} \cdot h_x^2} \cdot \sqrt{R^2 - \rho^2}} = \frac{H_1^2 \cdot U_x}{h_x \cdot (R^2 - \rho^2)}. \quad (70)$$

Вывод (фиг. 265 и 266)

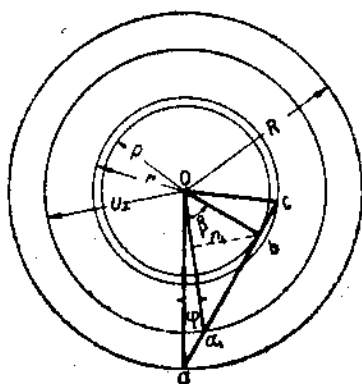
$$\operatorname{tg} E_x = \frac{h_x}{a_1 n_1}.$$

Здесь h_x — высота от горлового круга до рассматриваемого кольца, но

$$\frac{h_x}{H_1} = \frac{a_1 b}{ab} \quad \text{и} \quad h_x = H_1 \frac{a_1 b}{ab}.$$

Так как

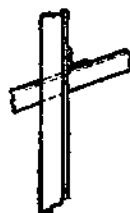
$$a_1 b = \sqrt{U_x^2 - \rho^2} \quad \text{и} \quad ab = \sqrt{R^2 - \rho^2},$$



Фиг. 265



Фиг. 266



Фиг. 267

то

$$h_x = H_1 \frac{\sqrt{U_x^2 - \rho^2}}{\sqrt{R^2 - \rho^2}}.$$

С другой стороны, из подобия треугольников $a_1 b n_1$ и $a_1 b o$ находим

$$\frac{a_1 n_1}{a_1 b} = \frac{a_1 b}{U_x}; \quad a_1 n_1 = \frac{a_1 b^2}{U_x} = \frac{U_x^2 - \rho^2}{U_x}.$$

Отсюда

$$\operatorname{tg} E_x = H_1 \frac{\sqrt{U_x^2 - \rho^2}}{\sqrt{R^2 - \rho^2}} \cdot \frac{U_x}{U_x^2 - \rho^2} = \frac{H_1 U_x}{\sqrt{U_x^2 - \rho^2} \cdot \sqrt{R^2 - \rho^2}}.$$

Подставляя вместо U_x выражение его через R и ρ из п. XIV, получим ф-лу (70).

При $U_x = R$ получим формулу для $\operatorname{tg} E_0$, выведенную в п. VII.

XVI. Для определения вертикальной проекции углов наклона стоек по сетке в горизонтальной плоскости, проходящей через рассматриваемое сечение (для определения угла размаковки коротышей, прикрепляющих кольца), имеем формулу (фиг. 265 и 267)

$$\operatorname{tg} \mu_x = \frac{h_x}{b n_1},$$

но

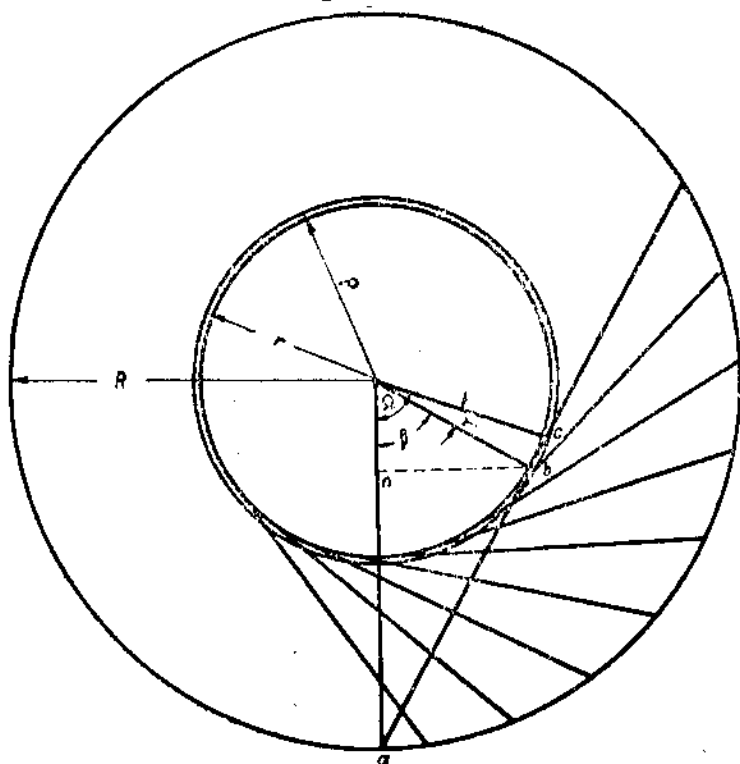
$$bn_1 = \rho \cdot \sin(\beta - \varphi); \quad a_1 b = \sqrt{U_x^2 - \rho^2}$$

или

$$a_1 b = U_x \sin(\beta - \varphi);$$

отсюда

$$\sin(\beta - \varphi) = \frac{\sqrt{U_x^2 - \rho^2}}{U_x}; \quad bn_1 = \rho \frac{\sqrt{U_x^2 - \rho^2}}{U_x}$$



Фиг. 268

и

$$\operatorname{tg} \mu_x = \frac{h_x \cdot U_x}{\rho \sqrt{U_x^2 - \rho^2}},$$

и окончательная формула

$$\operatorname{tg} \mu_x = \frac{H_1 \cdot U_x}{\rho \sqrt{R^2 - \rho^2}}. \quad (71)$$

Приведенные выше формулы могут быть выведены также непосредственно из уравнения гиперболоида.

д) Пример расчета геометрической схемы гиперболоидальной сетки. В качестве примера приводим расчет геометрической схемы вышерассмотренной башни, высотой $H=28,5$ м с резервуаром емкостью 625 м^3 (фиг. 268).

Дано: число стоев $n=50$, $R=7300$ мм, $r=3600$ мм и $H=25500$ мм;

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2 \cdot 50} = 3^\circ 36'; \quad 2\alpha = 7^\circ 12'; \quad \text{число пересечений } 9.$$

Углы и синусы углов, соответствующие пересечениям:

$$1) 3^{\circ}36' \quad \sin 3^{\circ}36' = 0,0627905$$

$$2) 10^{\circ}48' \quad \sin 10^{\circ}48' = 0,1873813$$

$$3) 18^{\circ} \quad \sin 18^{\circ} = 0,3090170$$

$$4) 25^{\circ}12' \quad \sin 25^{\circ}12' = 0,4257793$$

$$5) 32^{\circ}24' \quad \sin 32^{\circ}24' = 0,5358268$$

$$6) 39^{\circ}36' \quad \sin 39^{\circ}36' = 0,6374240$$

$$7) 46^{\circ}48' \quad \sin 46^{\circ}48' = 0,7289686$$

$$8) 54^{\circ} \quad \sin 54^{\circ} = 0,8090170$$

$$9) 61^{\circ}12' \quad \sin 61^{\circ}12' = 0,8763067$$

$$\Omega = 64^{\circ}48' \quad \sin \Omega = 0,9048271 \quad \text{и} \quad \cos \Omega = 0,4257793$$

$$\beta = 60^{\circ}32,504' \quad \sin \beta = 0,8707141 \quad \text{и} \quad \cos \beta = 0,4917894$$

По п. II

$$ac = \sqrt{7300^2 + 3600^2 - 2 \cdot 7300 \cdot 3600 \cdot 0,4257793} = 6623,5217 \text{ мм.}$$

По п. IV

$$\rho = \frac{7300 \cdot 3600 \cdot 0,9048271}{6623,5217} = 3590,0624 \text{ мм.}$$

По п. V

$$L = \sqrt{25500^2 + 6623,5217^2} = 26346,1769 \text{ мм.}$$

Угол наклона плоскости нижних опорных косынок (фиг. 269)

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{H}{R \cos \alpha - r \cos (\Omega - \alpha)};$$

$$\cos \alpha = \cos 3^{\circ}36' = 0,9980267,$$

$$\cos 61^{\circ}12' = 0,4817537$$

$$R \cos \alpha = 7300 \cdot 0,9980267 = 7285,59491$$

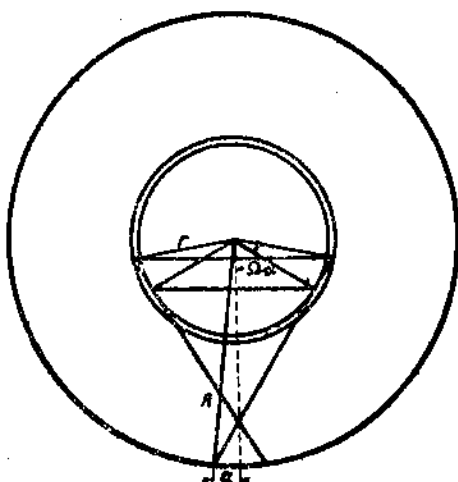
$$r \cos (\Omega - \alpha) = 3600 \cdot 0,4817537 =$$

$$1734,31332 \quad 7285,59491 -$$

$$- 1734,31332 = 5551,28159;$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{25500}{5551,28159} = 4,59.$$

Угол наклона стойки в плоскости косынок по п. VIII



Фиг. 269

$$\cos \mu = \frac{7300 \cdot 0,0627905 + 3600 \cdot 0,8763067}{26346,1769} = 0,1371384.$$

$$\mu = 82^{\circ}7,06'; \quad \operatorname{tg} 82^{\circ}7,06' = 7,22.$$

Высота от низа до горлового круга по п. VI

$$H_1 = 25500 \cdot \frac{7300^2 - 7300 \cdot 3600 \cdot 0,4257793}{6623,5217} = 24470,871 \text{ мм.}$$

$$ab = \sqrt{7300^2 - 3590^2} = 6356,213 \text{ мм.}$$

Определение отрезков между пересечениями по п. IX.

Величины отрезков по стойке, идя сверху

$$\Omega - \alpha = 61^{\circ}12'$$

$$\begin{aligned}
3600 \cdot \sin 61^\circ 12' &= 3154,7 \\
3600 \cdot \sin 54^\circ &= 2912,4 \\
3600 \cdot \sin 46^\circ 48' &= 2624,2 \\
3600 \cdot \sin 39^\circ 36' &= 2294,7 \\
3600 \cdot \sin 32^\circ 24' &= 1928,9 \\
3600 \cdot \sin 25^\circ 12' &= 1532,8 \\
3600 \cdot \sin 18^\circ &= 1112,4 \\
3600 \cdot \sin 10^\circ 48' &= 674,5 \\
3600 \cdot \sin 3^\circ 36' &= 226,0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
7300 \cdot \sin 3^\circ 36' &= 458,3 \\
7300 \cdot \sin 10^\circ 48' &= 1367,8 \\
7300 \cdot \sin 18^\circ &= 2255,8 \\
7300 \cdot \sin 25^\circ 12' &= 3108,1 \\
7300 \cdot \sin 32^\circ 24' &= 3911,5 \\
7300 \cdot \sin 39^\circ 36' &= 4653,1 \\
7300 \cdot \sin 46^\circ 48' &= 5321,4 \\
7300 \cdot \sin 54^\circ &= 5905,8 \\
7300 \cdot \sin 61^\circ 12' &= 6397,0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
l_1 &= L \cdot \frac{3154,7}{458,3 + 3154,7} = 23003,7 \\
l_2 &= L \cdot \frac{2912,4}{1367,8 + 2912,4} = 17926,6 \\
l_3 &= L \cdot \frac{2624,2}{2255,8 + 2624,2} = 14167,6 \\
l_4 &= L \cdot \frac{2294,7}{3108,1 + 2294,7} = 11189,7 \\
l_5 &= L \cdot \frac{1928,9}{3911,5 + 1928,9} = 8701,4 \\
l_6 &= L \cdot \frac{1532,8}{4653,1 + 1532,8} = 6528,2 \\
l_7 &= L \cdot \frac{1112,4}{5321,4 + 1112,4} = 4555,3 \\
l_8 &= L \cdot \frac{674,5}{5905,8 + 674,5} = 2700,8 \\
l_9 &= L \cdot \frac{226,0}{6397,0 + 226,0} = 899,1
\end{aligned}$$

$$l_{0-1} = 3342 \text{ мм}$$

$$l_{1-2} = 5079 \text{ »}$$

$$l_{2-3} = 3759 \text{ »}$$

$$l_{3-4} = 2978 \text{ »}$$

$$l_{4-5} = 2488 \text{ »}$$

$$l_{5-6} = 2173 \text{ »}$$

$$l_{6-7} = 1973 \text{ »}$$

$$l_{7-8} = 1855 \text{ »}$$

$$l_{8-9} = 1802 \text{ »}$$

$$l_{9-10} = 899 \text{ »}$$

$$\text{Итого} \cdot 26346 \text{ мм}$$

Высоты пересечений от верха

Высоты между пересечениями
от низа сети

$$\begin{aligned}
h_1 &= 25500 \cdot \frac{3154,7}{3613,0} = 22264,9 \\
h_2 &= 25500 \cdot \frac{2912,4}{4280,2} = 17350,8 \\
h_3 &= 25500 \cdot \frac{2624,2}{4880,0} = 13712,6 \\
h_4 &= 25500 \cdot \frac{2294,7}{5402,8} = 10830,3 \\
h_5 &= 25500 \cdot \frac{1928,9}{5840,4} = 8422,0 \\
h_6 &= 25500 \cdot \frac{1532,8}{6185,9} = 6318,5 \\
h_7 &= 25500 \cdot \frac{1112,4}{6433,8} = 4409,0 \\
h_8 &= 25500 \cdot \frac{674,5}{6580,3} = 2614,0 \\
h_9 &= 25500 \cdot \frac{226,0}{6623} = 870,3
\end{aligned}$$

$$h_{0-1} = 3235 \text{ мм}$$

$$h_{1-2} = 4914 \text{ »}$$

$$h_{2-3} = 3638 \text{ »}$$

$$h_{3-4} = 2882 \text{ »}$$

$$h_{4-5} = 2408 \text{ »}$$

$$h_{5-6} = 2104 \text{ »}$$

$$h_{6-7} = 1910 \text{ »}$$

$$h_{7-8} = 1795 \text{ »}$$

$$h_{8-9} = 1744 \text{ »}$$

$$h_{9-10} = 870 \text{ »}$$

$$\text{Итого} \cdot 25500 \text{ мм}$$

Высоты между кольцами Длины между кольцами
от низа сетки

$h_I = 2,7 \text{ м}$	$l_{0-I} = \frac{2,7}{25,6} \cdot 26\,346,1769 = 2789 \text{ мм}$
$h_{II} = 2,6 \text{ »}$	$l_{I-II} = 2,6 \cdot \frac{L}{H} = 2686 \text{ мм}$
$h_{III} = 2,6 \text{ »}$	$l_{II-III} = 2686 \text{ мм}$
$h_{IV} = 2,5 \text{ »}$	$l_{III-IV} = 2,5 \cdot \frac{L}{H} = 2583 \text{ мм}$
$h_V = 2,4 \text{ »}$	$l_{IV-V} = 2,4 \cdot \frac{L}{H} = 2480 \text{ »}$
$h_{VI} = 2,4 \text{ »}$	$l_{V-VI} = 2480 \text{ мм}$
$h_{VII} = 2,1 \text{ »}$	$l_{VI-VII} = 2170 \text{ »}$
$h_{VIII} = 2,1 \text{ »}$	$l_{VII-VIII} = 2170 \text{ »}$
$h_{IX} = 2,1 \text{ »}$	$l_{VIII-IX} = 2170 \text{ »}$
$h_X = 2,0 \text{ »}$	$l_{IX-X} = 2 \cdot \frac{L}{H} = 2066 \text{ мм}$
$h_{XI} = 2,0 \text{ »}$	$l_{X-XI} = 2066 \text{ мм}$
Итого . 25,5 м	Итого . 26 346 мм

Радиусы окружностей, соответствующих пересечениям по п. XIII

$\varphi_1 = 56^\circ 56,5'$	$\cos \varphi_1 = 0,54549$	и	$z_1 = 3590,06 : 0,54549 = 6581 \text{ мм}$
$\varphi_2 = 49^\circ 44,5'$	$\cos \varphi_2 = 0,64623$		$z_2 = 3590,06 : 0,64623 = 5555 \text{ »}$
$\varphi_3 = 42^\circ 32,5'$	$\cos \varphi_3 = 0,73678$		$z_3 = 3590,06 : 0,73678 = 4872 \text{ »}$
$\varphi_4 = 35^\circ 20,5'$	$\cos \varphi_4 = 0,81571$		$z_4 = 3590,06 : 0,81571 = 4401 \text{ »}$
$\varphi_5 = 28^\circ 8,5'$	$\cos \varphi_5 = 0,88178$		$z_5 = 3590,06 : 0,88178 = 4071 \text{ »}$
$\varphi_6 = 20^\circ 56,5'$	$\cos \varphi_6 = 0,93394$		$z_6 = 3590,06 : 0,93394 = 3844 \text{ »}$
$\varphi_7 = 13^\circ 44,5'$	$\cos \varphi_7 = 0,97137$		$z_7 = 3590,06 : 0,97137 = 3695 \text{ »}$
$\varphi_8 = 6^\circ 32,5'$	$\cos \varphi_8 = 0,99348$		$z_8 = 3590,06 : 0,99348 = 3613 \text{ »}$
$\varphi_9 = 0^\circ 39,5'$	$\cos \varphi_9 = 0,99993$		$z_9 = 3590,06 : 0,99993 = 3590 \text{ »}$
$\varphi_{10} = 4^\circ 15,5'$	$\cos \varphi_{10} = 0,99723$		$z_{10} = 3590,06 : 0,99723 = 3600 \text{ »}$

Радиусм колец

$$U = \sqrt{\frac{R^2 - \rho^2}{H_1^2} h_1^2 + \rho^2}.$$

Величину $\frac{R^2 - \rho^2}{H_1^2}$ обозначим через K .

Тогда

$$K = \frac{R^2 - \rho^2}{H_1^2} = \frac{7300^2 - 3590,06^2}{24470,8^2} = 0,06746;$$

$$\rho^2 = 12888\,548.$$

$$\begin{aligned} \text{I кольцо} & \left\{ \begin{aligned} h_I &= 21770,87; \quad h_I^2 = 473\,970\,824; \quad h_I^2 K = 31977863,5 \\ U_I &= \sqrt{31977863,5 + 12\,888\,548} = 6698,2 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\ \text{II кольцо} & \left\{ \begin{aligned} h_{II} &= 19170,87; \quad h_{II}^2 = 367\,522\,294; \quad h_{II}^2 K = 24\,795\,994 \\ U_{II} &= \sqrt{24\,795\,994 + 12\,888\,548} = 6138,7 \text{ мм} \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ \begin{aligned} h_{III} &= 16570,87; h_{III}^2 = 274\,593\,765; h_{III}^3 K = 18\,526\,292 \\ U_{III} &= \sqrt{18\,526\,292 + 12\,888\,548} = 5604,8 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\
& \left\{ \begin{aligned} h_{IV} &= 14070,87; h_{IV}^2 = 197\,989\,410; h_{IV}^3 K = 13\,357\,949 \\ U_{IV} &= \sqrt{13\,357\,949 + 12\,888\,548} = 5123 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\
& \left\{ \begin{aligned} h_V &= 11670,87; h_V^2 = 136\,209\,229; h_V^3 K = 9\,189\,764 \\ U_V &= \sqrt{9\,189\,764 + 12\,888\,548} = 4698 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\
& \left\{ \begin{aligned} h_{VI} &= 9270,87; h_{VI}^2 = 85\,949\,049; h_{VI}^3 K = 5\,798\,810 \\ U_{VI} &= \sqrt{5\,798\,810 + 12\,888\,548} = 4322 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\
& \left\{ \begin{aligned} h_{VII} &= 7170,87; h_{VII}^2 = 51\,421\,390; h_{VII}^3 K = 3\,469\,298 \\ U_{VII} &= \sqrt{3\,469\,298 + 12\,888\,548} = 4044 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\
& \left\{ \begin{aligned} h_{VIII} &= 5070,87; h_{VIII}^2 = 25\,713\,732; h_{VIII}^3 K = 1\,734\,854 \\ U_{VIII} &= \sqrt{1\,734\,854 + 12\,888\,548} = 3824 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\
& \left\{ \begin{aligned} h_{IX} &= 2907,87; h_{IX}^2 = 8\,826\,074; h_{IX}^3 K = 595\,477 \\ U_{IX} &= \sqrt{595\,477 + 12\,888\,548} = 3672 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\
& \left\{ \begin{aligned} h_X &= 970,87; h_X^2 = 942\,590; h_X^3 K = 63\,594 \\ U_X &= \sqrt{63\,594 + 12\,888\,548} = 3599 \text{ мм} \end{aligned} \right. \\
& \text{XI кольцо} \\
& U_{IX} = 3600 \text{ мм}
\end{aligned}$$

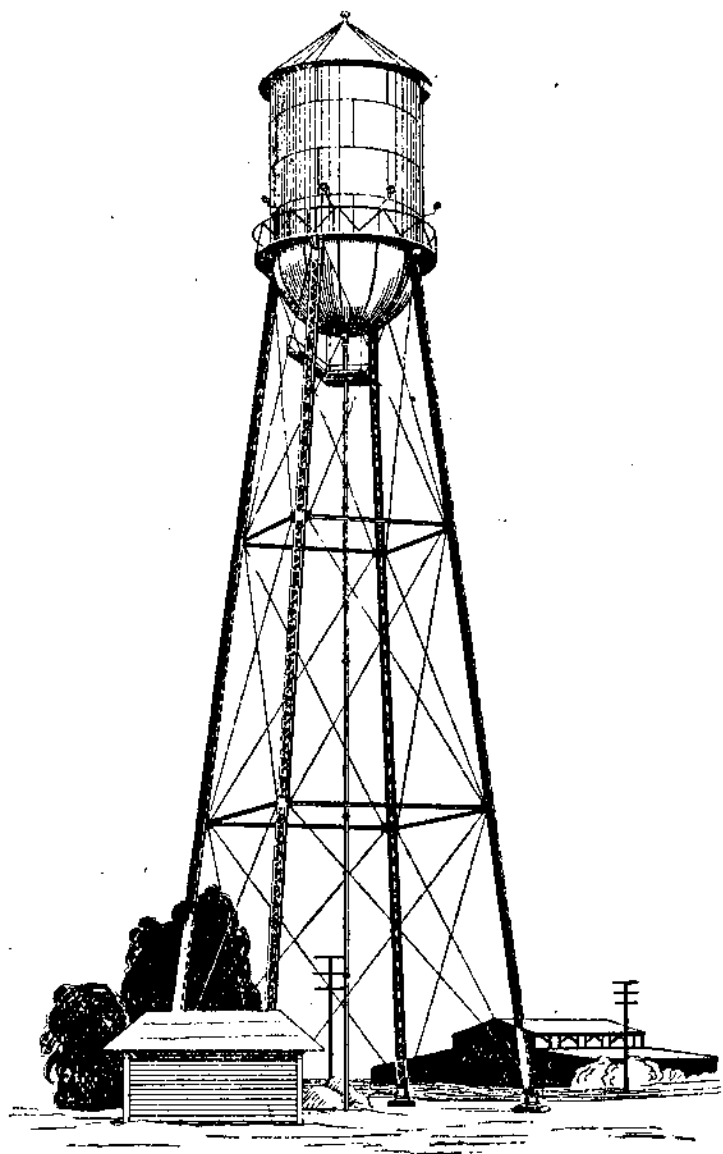
Тангенсы углов, образуемых касательной к гиперболе в точках, соответствующих промежуточным кольцам, определяются по п. XV

$$\begin{aligned}
\operatorname{tg} E_1 &= \frac{24470,87 \cdot 6698,2}{6356,2 \cdot \sqrt{31\,977\,863,5}} = 4,56; \\
\operatorname{tg} E_2 &= \frac{24470,87 \cdot 6138,7}{6356,2 \cdot \sqrt{24\,795\,994}} = 4,74; \\
\operatorname{tg} E_3 &= \frac{24470,87 \cdot 5604,8}{6356,2 \cdot \sqrt{18\,526\,292}} = 5,01; \\
\operatorname{tg} E_4 &= \frac{24470,87 \cdot 5123}{6356,2 \cdot \sqrt{13\,357\,949}} = 5,39; \\
\operatorname{tg} E_5 &= \frac{24470,87 \cdot 4698}{6356,2 \cdot \sqrt{9\,189\,764}} = 5,96; \\
\operatorname{tg} E_6 &= \frac{24470,87 \cdot 4322}{6356,2 \cdot \sqrt{5\,798\,810}} = 6,91; \\
\operatorname{tg} E_7 &= \frac{24470,87 \cdot 4044}{6356,2 \cdot \sqrt{3\,469\,298}} = 8,36; \\
\operatorname{tg} E_8 &= \frac{24470,87 \cdot 3824}{6356,2 \cdot \sqrt{1\,734\,854}} = 11,17; \\
\operatorname{tg} E_9 &= \frac{24470,87 \cdot 3672}{6356,2 \cdot \sqrt{595\,477}} = 18,32; \\
\operatorname{tg} E_{10} &= \frac{24470,87 \cdot 3599}{6356,2 \cdot \sqrt{63\,594}} = 54,94;
\end{aligned}$$

Опоры американского типа

Как было сказано ранее, в Америке распространен в отличие от рассмотренного другой тип металлических опор под водяные резервуары, располагаемые на высоте. Резервуары водонапорных башен применяются

обычно со сферическим дном и ставятся на металлическую опору открыто, без устройства изоляционного деревянного кожуха вокруг них. Для защиты же воды от нагревания солнцем и испарения ее применяются обычно специальные алюминиевые краски, которыми покрывается резервуар.

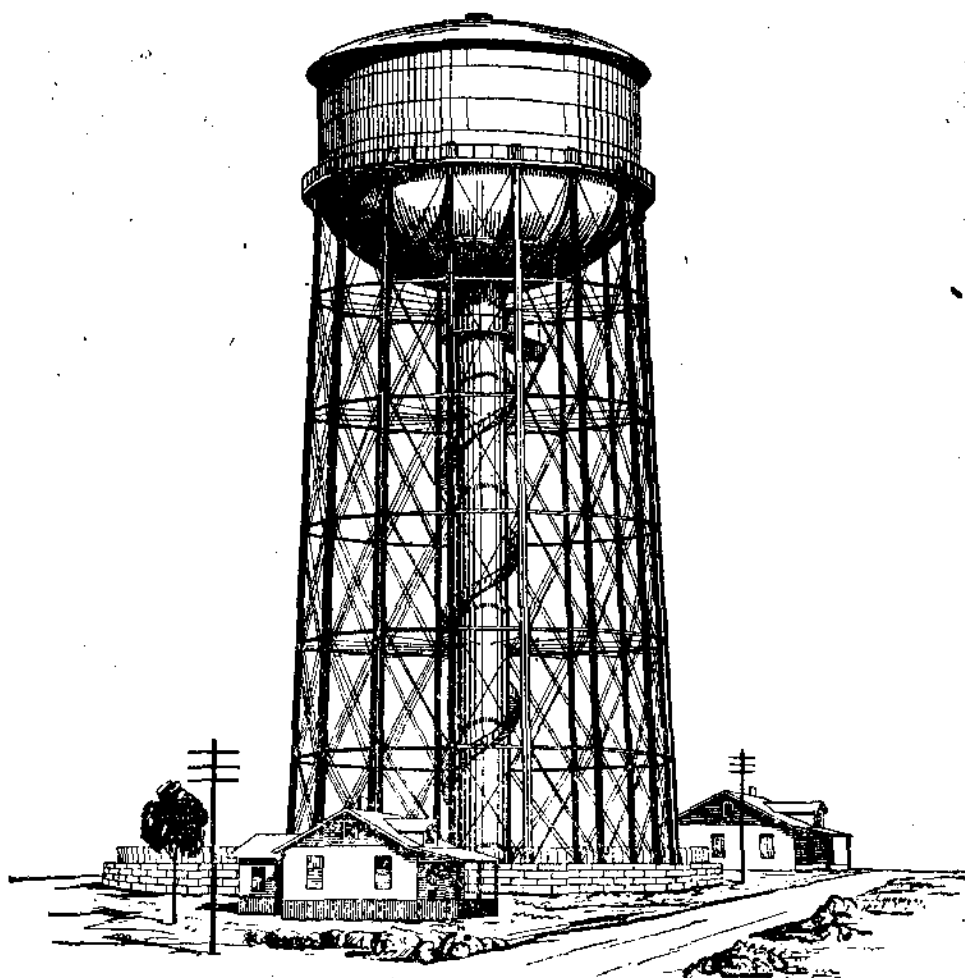


Фиг. 270

а) Описание конструкций опор. Фотография на фиг. 270 дает ясное представление о конструкции опор.

Опора состоит из небольшого числа мощных по сечению стоек, связанных между собой через большие промежутки жесткими распорками

и диагоналями из круглого железа. Стойки в зависимости от конструкции резервуара ставятся или вертикально или с некоторым наклоном к центру опоры. Резервуар приклепывается к стойкам посредством специальных лап, располагаемых в месте сопряжения сферического дна с вертикальными стенками резервуара. Фотография на фиг. 271 изображает башню с большим резервуаром емкостью 3750 м³.



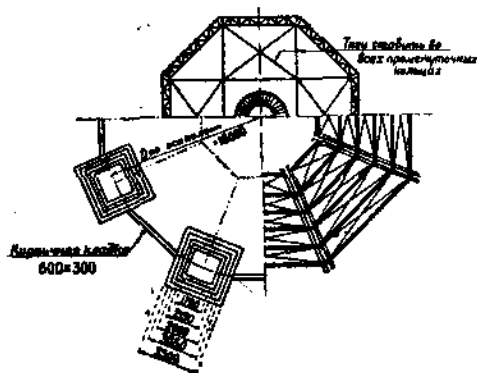
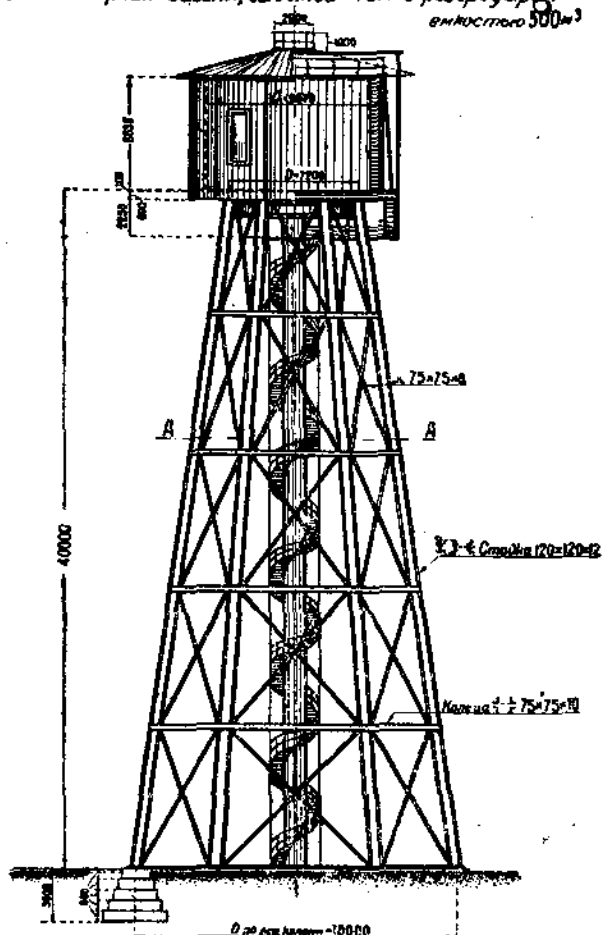
Фиг. 271

Опора состоит из довольно большого числа стоек. В плоскости многогранных колец, образуемых распорками, между стойками расположены связи в виде радиальных тяг, идущих от каждой стойки к центральной трубе.

На фиг. 272—278 показана опора высотой 40 м с резервуаром емкостью 500 м³. Резервуар имеет плоское дно.

Указанные чертежи дают пример конструктивного решения металлической опоры, состоящей из восьми мощных стоек, связанных между собой рас-

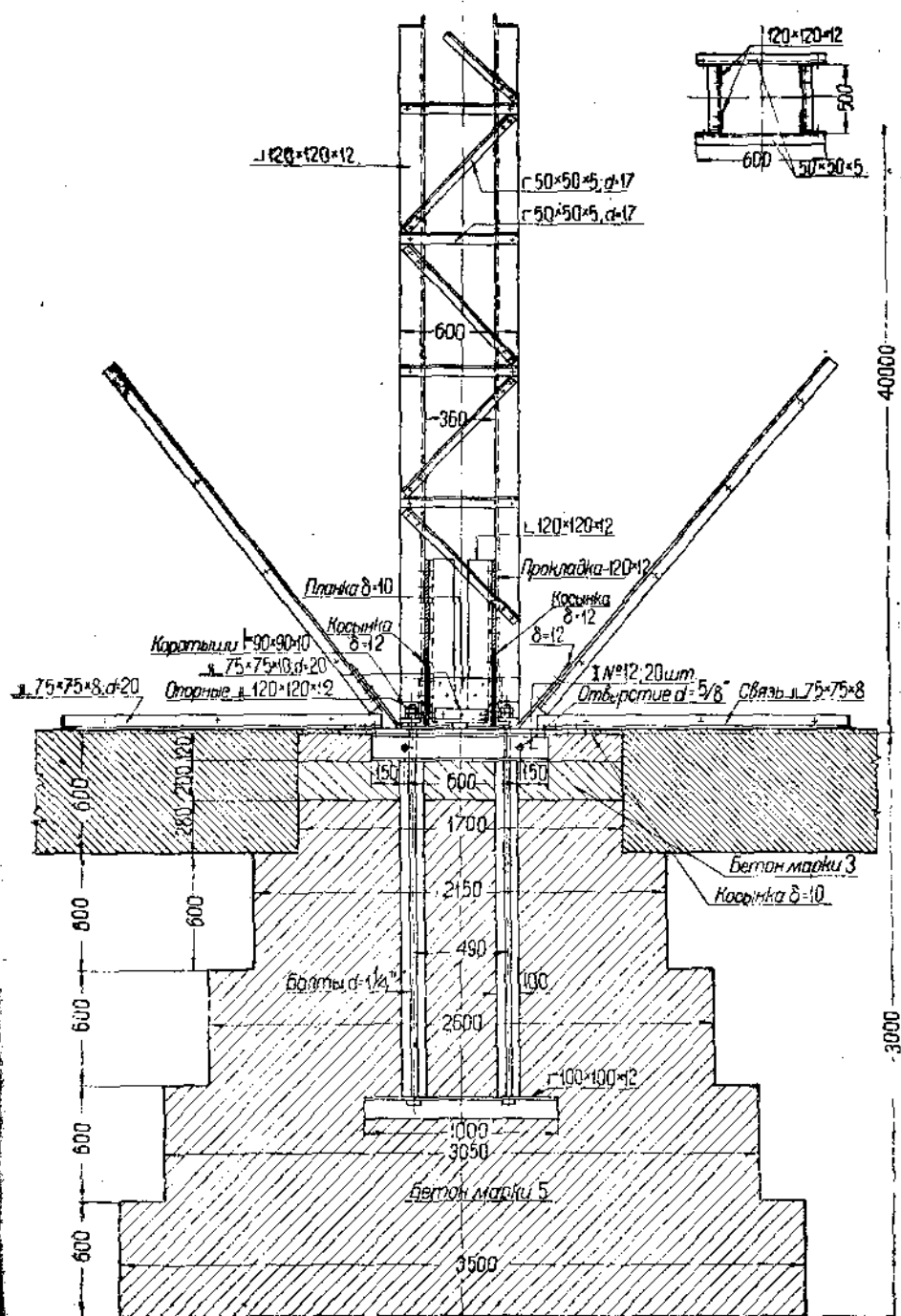
Водонапорная башня, высотой 40 м с резервуаром
емкостью 500 м³



Фиг. 272

б) Расчет опор. Усилия в стойках опоры складываются из усилий, возникающих от действия нагрузки, а именно — собственного веса опоры и веса воды в резервуаре, и от действия ветра.





Фиг. 274

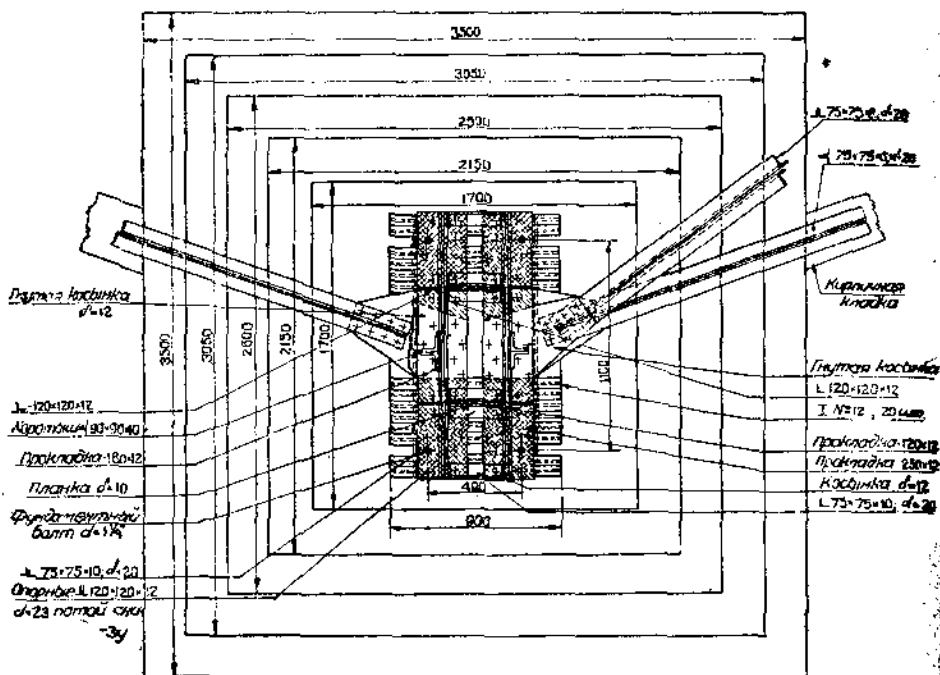
Вертикальная составляющая усилия, приходящегося на каждую стойку от суммарного веса опоры и воды в резервуаре, равна

$$Q:n,$$

где n — число стоек опоры,

Q — суммарный вес.

Максимальные усилия в стойках опоры от действия ветрового момента на опору возникают тогда, когда направление ветра параллельно наибольшей диагонали многоугольника, образуемого стойками в поперечном сечении опоры.



Фиг. 275

1. Так, например, если имеем опору из восьми стоек, то максимальная вертикальная слагающая усилия в стойке будет в заостренной части опоры при направлении ветра по 1—1 (фиг. 279).

Если M представляет собой момент ветровых усилий относительно оси 3—3, то момент усилий в стойках относительно той же оси будет равен M .

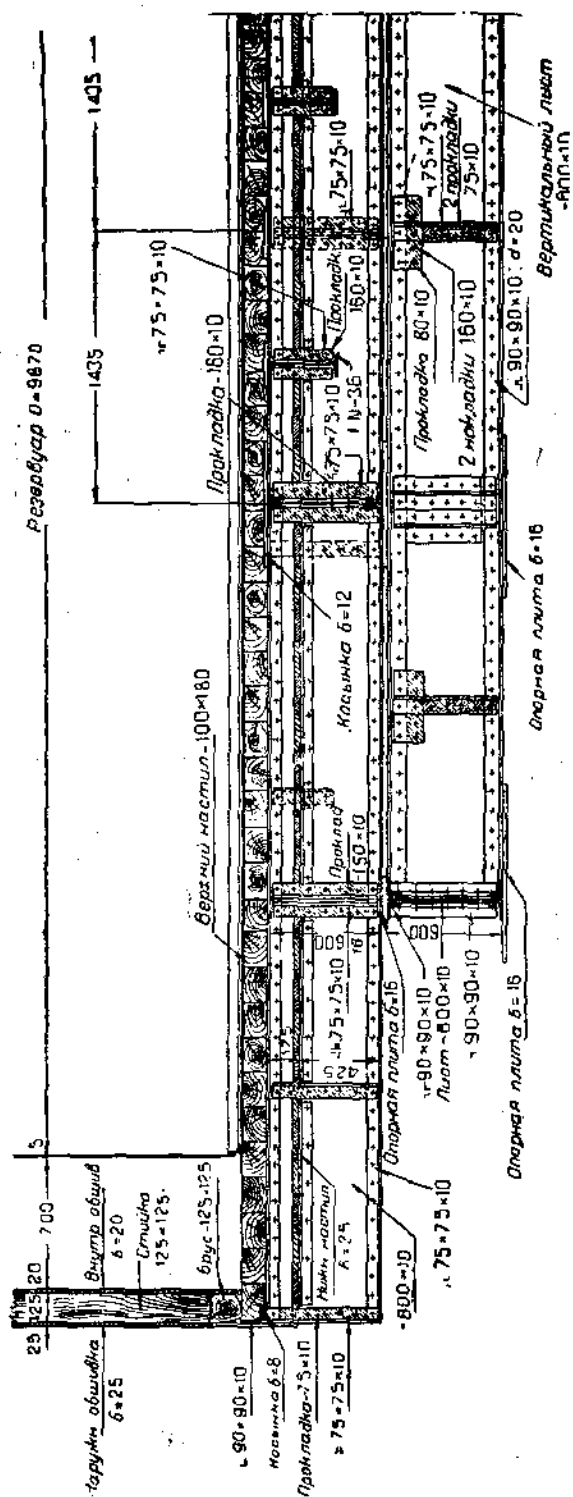
В опоре, состоящей из восьми стоек, он будет выражаться

$$M = 2 \cdot P_1 \cdot r + 4 P_2 \cdot r \cdot \cos 45^\circ;$$

здесь P_1 и P_2 — усилия в стойках 1 и 2.

Но

$$P_2 : P_1 = r \cdot \cos 45^\circ : r; P_2 = P_1 \cdot \cos 45^\circ;$$



откуда

$$M = P_1 r [2 + 4 \cdot \cos^2 45^\circ] = 4 P_1 r;$$

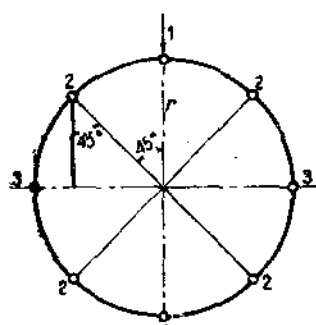
$$P_1 = \frac{M}{4r}; \quad P_2 = 0,7 \cdot \frac{M}{4r}.$$
(72)

2. В случае опоры из трех стоек будем иметь (фиг. 280)

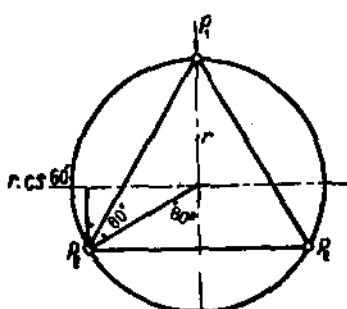
$$M = P_1 r + 2 P_2 r \cos 60^\circ;$$

$$P_2 : P_1 = r \cdot \cos 60^\circ : r;$$

$$P_2 = P_1 \cdot \cos 60^\circ.$$



Фиг. 279



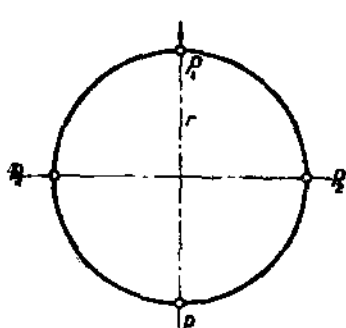
Фиг. 280

Откуда

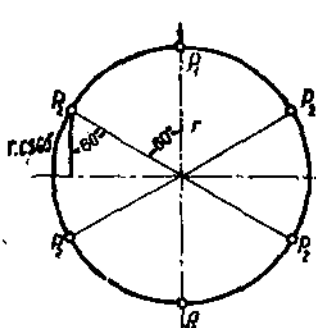
$$M = P_1 r (1 + 2 \cdot \cos^2 60^\circ) = \frac{3}{2} P_1 r.$$

Следовательно

$$P_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{M}{r} = \frac{M}{1,5r}; \quad P_2 = \frac{M}{3r}.$$
(73)



Фиг. 281



Фиг. 282

3. Для опоры из четырех стоек имеем (фиг. 281)

$$M = 2 P_1 r; \quad P_1 = \frac{M}{2r}.$$
(74)

4. При опоре из шести стоек будем иметь равенство (фиг. 282)

$$M = 2 P_1 r + 4 P_2 r \cdot \cos 60^\circ.$$

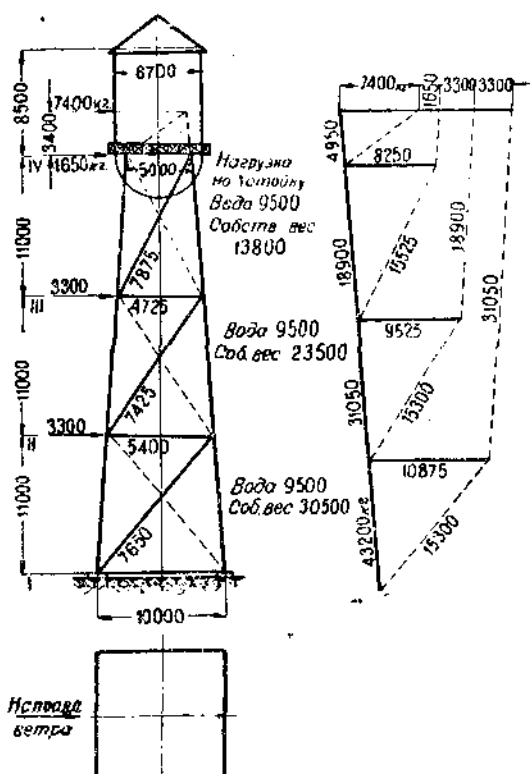
По предыдущему

$$P_2 = P_1 \cdot \cos 60^\circ;$$

$$M = P_1 r [2 + 4 \cdot \cos^2 60^\circ] = 3 P_1 \cdot r;$$

откуда

$$P_1 = \frac{M}{3r}; \quad P_2 = \frac{M}{6r}. \quad (75)$$



Фиг. 283

Таким образом вертикальная слагающая наибольшего усилия в стойках, возникающая от действия ветра в этих опорах, определяется по той же формуле, какая была выведена при разборе расчета сетчатых опор, т. е.

$$S = \frac{M}{\frac{n}{2} \cdot r}, \quad (76)$$

где $\frac{n}{2}$ — половинное число стоек опоры.

Определив суммарную вертикальную слагающую наибольшего усилия в стойке от нагрузки собственным весом опоры, весом воды и действием ветра, найдем величину самого усилия в стойке, разделив вертикальную составляющую на косинус угла, образуемого стойкой с вертикальной линией.

Усилия в распорках и диагоналях в опорах, состоящих из четырех стоек, легко могут

быть определены посредством диаграммы; в опорах же, состоящих из большого числа стоек (6, 8, 10 или 12), усилия предпочтительно определять аналитически.

В опоре, состоящей из четырех стоек, наибольшие усилия в распорках и диагоналях будут иметь место при действии ветра в направлении, параллельном плоскости решетки, и определение их показано на примере, изображенном на фиг. 283.

В приведенном примере диаграмма усилий построена на всю ветровую нагрузку, и для получения соответствующих усилий в стержнях следует все полученные по диаграмме величины усилий разделить пополам.

Нагрузка на каждую стойку в каждой панели от веса воды и веса опоры указана на чертеже.

Аналитически усилия в диагоналях и распорках могут быть определены по следующим формулам Hool и Kinne¹.

Опоры с вертикальными стойками

Число стоек	Усилия в стойках P	Усилия в диагоналях R	Усилия в распорках S	Усилия в балках T
3	$\frac{M}{0,75D}$	$0,500 (P - P') \sec \alpha$	$1,15 W + R \cdot \sin \alpha$	$P - \frac{Q}{3}$
4	$\frac{M}{1,0D}$	$0,707 (P - P') \sec \alpha$	$W + R \cdot \sin \alpha$	$P - \frac{Q}{4}$
6	$\frac{M}{1,5D}$	$1,000 (P - P') \sec \alpha$	$W + R \cdot \sin \alpha$	$P - \frac{Q}{6}$
8	$\frac{M}{2,0D}$	$1,307 (P - P') \sec \alpha$	$W + R \cdot \sin \alpha$	$P - \frac{Q}{8}$
10	$\frac{M}{2,5D}$	$1,618 (P - P') \sec \alpha$	$W + R \cdot \sin \alpha$	$P - \frac{Q}{10}$
12	$\frac{M}{3D}$	$1,932 (P - P') \sec \alpha$	$W + R \cdot \sin \alpha$	$P - \frac{Q}{12}$
16	$\frac{M}{4D}$	$2,563 (P - P') \sec \alpha$	$W + R \cdot \sin \alpha$	$P - \frac{Q}{16}$

Опоры с наклонными стойками

Число стоек	Усилия в стойках P	Усилия в диагоналях R	Усилия в распорках S	Усилия в балках T
3	$\frac{M}{0,75D} \cdot \sec \phi$	$0,500 (V - V') \sec \alpha$	$1,15 W + R \cos \Theta - \frac{0,5}{1,15} (P - P') \sin \phi$	$V - \frac{Q}{3}$
4	$\frac{M}{1,0D} \cdot \sec \phi$	$0,707 (V - V') \sec \alpha$	$W + R \cos \Theta - 0,5 (P - P') \sin \phi$	$V - \frac{Q}{4}$
6	$\frac{M}{1,5D} \cdot \sec \phi$	$1,000 (V - V') \sec \alpha$	$W + R \cos \Theta - 0,5 (P - P') \sin \phi$	$V - \frac{Q}{6}$
8	$\frac{M}{2,0D} \cdot \sec \phi$	$1,307 (V - V') \sec \alpha$	$W + R \cos \Theta - 0,5 (P - P') \sin \phi$	$V - \frac{Q}{8}$
10	$\frac{M}{2,5D} \cdot \sec \phi$	$1,618 (V - V') \sec \alpha$	$W + R \cos \Theta - 0,5 (P - P') \sin \phi$	$V - \frac{Q}{10}$
12	$\frac{M}{3D} \cdot \sec \phi$	$1,932 (V - V') \sec \alpha$	$W + R \cos \Theta - 0,5 (P - P') \sin \phi$	$V - \frac{Q}{12}$
16	$\frac{M}{4D} \cdot \sec \phi$	$2,563 (V - V') \sec \alpha$	$W + R \cos \Theta - 0,5 (P - P') \sin \phi$	$V - \frac{Q}{16}$

¹ Hool and Kinne, Steel and Timber Structures, 1924, стр. 436.

В этих формулах приняты следующие обозначения:

M — момент ветра внизу рассматриваемой панели,

D — диаметр окружности расположения стоек в рассматриваемом сечении,

Q — вес металла, приходящийся на рассматриваемое сечение,

W — суммарная ветровая нагрузка панели, деленная на число стоек (при опоре из трех стоек суммарная нагрузка панели делится на 4),

P — сжатие стойки в наветренной части,

P' — растяжение стойки в наветренной части, равное сжатию стойки в вышележащей панели наветренной части,

V — вертикальная составляющая усилия P ,

V' — вертикальная составляющая усилия P' ,

R — усилие в диагонали в панели, лежащей выше рассматриваемой распорки,

α — угол, составляемый диагональю с вертикалью в плоскости панели,

θ — угол, образуемый распоркой с диагональю в вышележащей панели,

ϕ — угол, образуемый стойкой с вертикалью.

Наклон стоек 0,115 до $\frac{1}{12}$.

При наклоне 0,115 . . . $\sec \phi = 1,008$ и $\sin \phi = 1,115$

» » $\frac{1}{12}$. . . $\sec \phi = 1,003$ и $\sin \phi = 0,083$

Применяя приведенные формулы для определения усилий в башне, изображенной на фиг. 283, получим:

¹ Формулы для определения усилий в диагоналях и распорках получаются весьма просто из диаграммы усилий.

В случае наклонных стоек точное выражение их было бы:

Число стоек	R	S
4	$0,707 (V - V') \sec \beta \cdot \sec \alpha$	$W + R \cos \theta - 0,707 (P - P') \sin \gamma$
6	$1,000 (V - V') \sec \beta \cdot \sec \alpha$	$W + R \cos \theta - 1,000 (P - P') \sin \gamma$
8	$1,307 (V - V') \sec \beta \cdot \sec \alpha$ и т. д.	$W + R \cos \theta - 1,307 (P - P') \sin \gamma$ и т. д.

где β — угол наклона грани к вертикали,

γ — угол, образуемый стойкой с вертикалью (перпендикуляром к распорке) в плоскости грани.

Так как $\sec \beta$ практически очень мало отличается от единицы, то его можно принимать за таковую. Величины же $0,707 \sin \gamma$, $1,000 \sin \gamma$, $1,307 \sin \gamma$ и т. д. могут быть заменены величиной $0,5 \sin \phi$, откуда и получаются приведенные выше формулы.

Наименование сечений	Моменты M в тм	Диаметр D в ж	V в т	sec ϕ	P	Нагрузка на 1 стойку			Q sec ϕ	$P + Q$ sec ϕ
						От веса воды в т	От собственной ного веса ж	Суммарная Q		
I	422	14,14	30,5	1,005	30,7	95	30,5	125,5	126	156,7
II	261	11,78	22,2	—	22,3	95	23,5	118,5	119	141,3
III	135	9,43	13,3	—	13,4	95	13,8	108,8	109	122,4
IV	25	7,07	3,54	—	3,56	—	—	—	—	—

Усилия в диагоналях в т

Панель	V	V'	$0,707 \cdot (V - V')$	sec α	$0,707 \cdot (V - V') \text{ sec } \alpha$
I — II	30,5	22,2	5,86	1,3	7,6
II — III	22,2	13,3	6,28	1,21	7,6
III — IV	13,3	3,54	6,9	1,13	7,8

Усилия в распорках в т

Панель	W	R	$\cos \Theta$	$R \cos \Theta$	$0,5 (P - P')$	$\sin \phi$	$W + R \cos \Theta - 0,5 (P - P') \sin \phi$
I — II	0,825	7,6	0,562	4,27	4,45	0,106	4,62
II — III	0,825	7,8	0,467	3,64	4,92	0,106	3,95

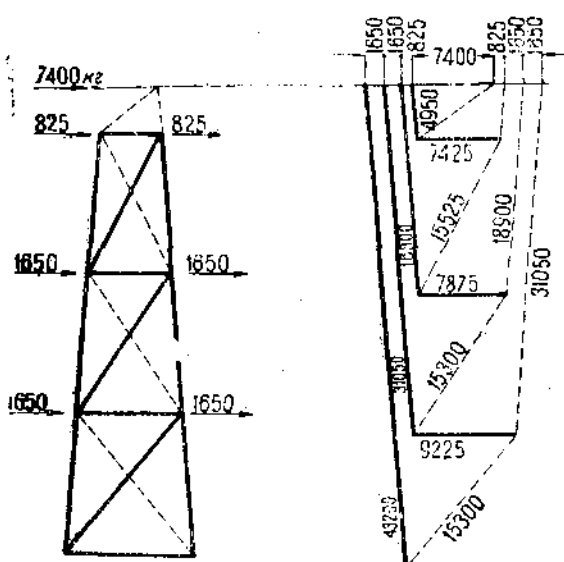
Как видно из подсчета, усилия, определенные по этим формулам, получились примерно такими же по величине, как в предыдущей диаграмме, за исключением усилий в распорках, которые менее диаграммных на величину $W = 0,825 \text{ т}$.

Эта разница объясняется тем, что при построении диаграммы было предположено, что вся ветровая нагрузка на панель приложена к узлам стоек, лежащих в наветренной стороне; между тем как нагрузка фактически распределяется по узлам стоек как наветренной, так и заветренной сторон. Усилия в диагоналях остаются при этом условия такими же, какими они определены по диаграмме; усилия же в распорках будут менее определенных по диаграмме на величину $0,825 \text{ т}$. Если при построении диаграммы распределить приложение ветровых нагрузок по узлам стоек наветренной и заветренной сторон, то усилия в диагоналях и распорках, определенные диаграммой и аналитическим путем, по приведенным выше формулам будут одинаковыми. Диаграмма при этом будет иметь вид, изображенный на фиг. 284.

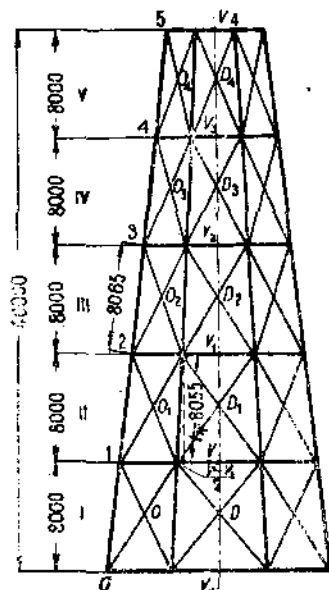
в) Пример расчета. Приведем пример расчета металлической опоры, состоящей из восьми стоек, связанных между собой распорками и диагоналями (фиг. 285), изображенной детально на фиг. 272—278.

Основные данные: высота опоры $H = 40\,000$ мм, емкость резервуара 500 м^3 . Диаметры описанных окружностей стоек у основания $18\,000$ мм, у верха — 7793 мм.

На основании приведенной на фиг. 285 схемы геометрические длины элементов опоры будут



Фиг. 234



Фиг. 285

$$O = O_1 = O_2 = O_3 = O_4 = \frac{1}{5} \sqrt{40^2 + 5,1034^2} = 8,065 \text{ м}$$

$$V_0 = 6,888 \text{ м}$$

$$V = 6,107 \text{ »}$$

$$V_1 = 5,326 \text{ »}$$

$$V_2 = 4,544 \text{ »}$$

$$V_3 = 3,763 \text{ »}$$

$$V_4 = 2,982 \text{ »}$$

$$D = \sqrt{8,055^2 + 6,490^2} = 10,349 \text{ м}$$

$$D_1 = \sqrt{8,055^2 + 5,717^2} = 9,878 \text{ »}$$

$$D_2 = \sqrt{8,055^2 + 4,936^2} = 9,447 \text{ »}$$

$$D_3 = \sqrt{8,055^2 + 4,154^2} = 9,063 \text{ »}$$

$$D_4 = \sqrt{8,055^2 + 3,373^2} = 8,738 \text{ »}$$

$$h_1 = \frac{1}{5} \sqrt{(9 \cos 22,5^\circ - 3,6)^2 + 40^2} = 8,055$$

$$\cos \phi = \frac{40}{40,325} = 0,99194 \quad \sin \phi = \frac{5,1034}{40,325} = 0,12655$$

$$\cos \alpha = \frac{8,055}{10,349} = 0,778$$

$$\cos \alpha_1 = 0,815$$

$$\cos \alpha_2 = 0,853$$

$$\cos \alpha_3 = 0,890$$

$$\cos \alpha_4 = 0,922$$

$$\cos \theta_1 = 5,717 : 9,878 = 0,580$$

$$\cos \theta_2 = 4,936 : 9,447 = 0,525$$

$$\cos \theta_3 = 0,458$$

$$\cos \theta_4 = 0,386$$

Нагрузки:

вес воды	500 т
» деревянного матра вокруг резервуара	20 »
» резервуара и собственный вес опоры	140 »

Ветровая нагрузка по Единым нормам, по формуле $p = k(p_0 + k_1 h)$, где p_0 принято за 100 кг/м^2 (прибрежная полоса моря), k — коэффициент обтекания принят равным 1,5;

$$k_1 = 1 - 0,33 \frac{h_1}{h}$$

Разбиваем всю высоту $H = 40 \text{ м}$ на пять участков по 8 м; тогда для каждого из них будем иметь:

$$\text{I участок} \begin{cases} h = 40 \text{ м}; k_1 = 1 - 0,33 \frac{8}{40} = 0,934 \\ p_1 = 1,5(100 + 0,934 \cdot 40) = 200 \text{ кг/м}^2 \end{cases}$$

$$\text{II участок} \begin{cases} h = 32 \text{ м}; k_1 = 1 - 0,33 \frac{8}{32} = 0,918 \\ p_2 = 1,5(100 + 0,918 \cdot 32) = 190 \text{ кг/м}^2 \end{cases}$$

$$\text{III участок} \begin{cases} h = 24 \text{ м}; k_1 = 1 - 0,33 \frac{8}{24} = 0,891 \\ p_3 = 1,5(100 + 0,891 \cdot 24) = 180 \text{ кг/м}^2 \end{cases}$$

$$\text{IV участок} \begin{cases} h = 16 \text{ м}; k_1 = 1 - 0,33 \frac{8}{16} = 0,835 \\ p_4 = 1,5(100 + 0,835 \cdot 16) = 165 \text{ кг/м}^2 \end{cases}$$

$$\text{V участок} \begin{cases} h = 8 \text{ м}; k_1 = 1 - 0,33 \frac{8}{8} = 0,670 \\ p_5 = 1,5(100 + 0,67 \cdot 8) = 155 \text{ кг/м}^2 \end{cases}$$

Площади участков, подверженных действию ветра, определяем по вертикальной проекции с учетом коэффициента сплошности 0,5 (фиг. 286):

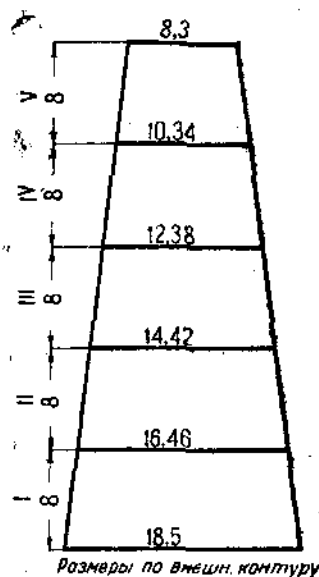
$$\omega_5 = 9,3 \cdot 8 \cdot 0,5 = 37,2 \text{ м}^2$$

$$\omega_4 = 11,4 \cdot 8 \cdot 0,5 = 45,6 \text{ »}$$

$$\omega_3 = 13,4 \cdot 8 \cdot 0,5 = 53,6 \text{ »}$$

$$\omega_2 = 15,5 \cdot 8 \cdot 0,5 = 62 \text{ »}$$

$$\omega_1 = 17,5 \cdot 8 \cdot 0,5 = 70 \text{ »}$$



Фиг. 286

Давление ветра на участки башни соответственно этим площадям будет

V участок	$0,2 \cdot 37,2 = 7,5 \text{ т}$
IV »	$0,19 \cdot 45,6 = 8,7 \text{ »}$
III »	$0,180 \cdot 53,6 = 9,5 \text{ »}$
II »	$0,165 \cdot 62 = 10,3 \text{ »}$
I »	$0,155 \cdot 70 = 10,8 \text{ »}$

Давление ветра на деревянный кожух вокруг резервуара, принимая диаметр его равным 11,5 м и высоту 8 м, а коэффициент обтекания 0,6:

$$P_{\text{в}} = 0,6 \left[100 + 48 \left(1 - 0,33 \frac{8}{48} \right) \right] \cdot 11,5 \cdot 8 = 0,6 \cdot 145 \cdot 11,5 \cdot 8 \approx 8 \text{ т.}$$

Ветровые нагрузки на плоскости узлов сетки башни последовательно снизу равны

$$\begin{aligned} \text{на плоскость 0} \dots P_0 &= \frac{10 \cdot 8}{2} = 5,4 \text{ т} \\ \text{» » 1} \dots P_1 &= \frac{10,8 + 10,3}{2} = 10,55 \text{ т} \\ \text{» » 2} \dots P_2 &= \frac{1}{2} (10,3 + 9,5) = 9,9 \text{ »} \\ \text{» » 3} \dots P_3 &= \frac{1}{2} (9,5 + 8,7) = 9,1 \text{ »} \\ \text{» » 4} \dots P_4 &= \frac{1}{2} (8,7 + 7,5) = 8,1 \text{ »} \\ \text{» » 5} \dots P_5 &= \frac{1}{2} 7,5 = 3,75 \text{ т} \end{aligned}$$

Моменты от действия ветра на башню

$$\begin{aligned} \text{относительно плоскости 0} \dots M_0 &= 8 \cdot 44 + 3,75 \cdot 40 + 8,1 \cdot 32 + 9,1 \cdot 24 + 9,9 \cdot 16 + \\ &\quad + 10,55 \cdot 8 = 1223 \text{ тм} \\ \text{» » 1} \dots M_1 &= 8 \cdot 36 + 3,75 \cdot 32 + 8,1 \cdot 24 + 9,1 \cdot 16 + \\ &\quad + 9,9 \cdot 8 = 829 \text{ тм} \\ \text{» » 2} \dots M_2 &= 8 \cdot 28 + 3,75 \cdot 24 + 8,1 \cdot 16 + 9,1 \cdot 8 = 517 \text{ тм} \\ \text{» » 3} \dots M_3 &= 8 \cdot 20 + 3,75 \cdot 16 + 8,1 \cdot 8 = 285 \text{ тм} \\ \text{» » 4} \dots M_4 &= 8 \cdot 12 + 3,75 \cdot 8 = 126 \text{ тм} \\ \text{» » 5} \dots M_5 &= 8 \cdot 4 = 32 \text{ тм} \end{aligned}$$

Максимальные усилия в стойках опоры равны

$$\frac{M}{2 D \cos \phi} + \frac{Q}{8 \cos \phi}$$

M в тм	D в м	$2 D$	$\cos \phi$	$\frac{M}{2 D \cos \phi}$	Q	$\frac{Q}{8}$	$\frac{Q}{8 \cos \phi}$	$\frac{M}{2 D \cos \phi} + \frac{Q}{8 \cos \phi}$
1223	18	36	0,99194	34,3	660	82,5	83,5	117,8
829	15,95	31,9	0,99194	26,3	640	80	81	107,3
517	13,91	27,82	0,99194	18,7	620	77,5	78,5	97,2
285	11,83	23,66	0,99194	12,2	600	75	76	88,2
126	9,23	18,46	0,99194	6,9	580	72,5	73,5	80,4
32	7,79	15,58	0,99194	2,1	560	70	71	73,1

Усилия в диагоналях определяются по формуле

$$R = \frac{1,307 (V - V')}{\cos \alpha}$$

Название диагонали	$\cos \alpha$	$\frac{1,307}{\cos \alpha}$	V	V'	$V - V'$	$\frac{1,307 (V - V')}{\cos \alpha}$
D	0,778	1,68	34	26	8	13,4 т
D_1	0,815	1,6	26	18,6	7,4	11,8 »
D_2	0,853	1,53	18,6	12	6,6	10,1 »
D_3	0,890	1,47	12	6,8	5,2	7,65 »
D_4	0,922	1,42	6,8	2,06	4,74	6,73 »

Условия в распорках определяются по формуле

$$S = W + R \cos \Theta - 0,5(P - P') \sin \phi.$$

Наименование распорки	$W = \frac{P}{8}$	R	$\cos \Theta$	$R \cos \Theta$	$\sin \phi$	$0,5 \sin \phi$	$P - P'$	$0,5(P - P') \sin \phi$	S
$V \dots$	1,32	11,8	0,580	6,83	0,12655	0,063	7,6	0,48	7,67
$V_1 \dots$	1,24	10,1	0,525	5,3	0,12655	0,063	6,5	0,41	6,13
$V_2 \dots$	1,14	7,65	0,458	3,5	0,12655	0,063	5,3	0,34	4,30
$V_3 \dots$	1,01	6,73	0,386	2,6	0,12655	0,063	4,8	0,30	3,31

Усилие, действующее на болты при пустом резервуаре без воды

$$V = \frac{Q}{8} = 34 - \frac{160}{8} = 14 \text{ т.}$$

Подбор сечений стержней опоры.

Стойки. Участки I и II. Сечение стойки на этих участках состоит из четырех угольников сечением $120 \times 120 \times 12 \text{ мм}$, связанных между собой решеткой в четырех плоскостях из углового железа (фиг. 287).

Площадь сечения угольников стойки

$$\omega = 27,5 \cdot 4 = 110 \text{ см}^2;$$

$$I_{xx} = 13\,221 \cdot 4 = 52\,884 \text{ см}^4;$$

$$I_{yy} = 4(367 + 27,5 \cdot 21,4^2) = 52\,080 \text{ см}^4.$$

Наименьший радиус инерции

$$r_y = \sqrt{\frac{52\,080}{110}} = 21,8 \text{ см.}$$

Свободная длина $l = 806 \text{ см}$; гибкость стержня $\lambda = 806 : 21,8 = 37$; радиус инерции угольника $r_0 = 3,65$; расстояние между планками $l_0 = 60 \text{ см}$; гибкость ветви $\lambda_0 = l_0 : r_0 = 60 : 3,65 = 17$.

Приведенная гибкость стержня

$$\lambda = \sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_0^2} = \sqrt{37^2 + 17^2} = 41.$$

Коэффициент φ , соответствующий указанной гибкости:

$$\varphi = 0,89.$$

Напряжение металла стойки

$$K = \frac{117\,800}{110 \cdot 0,89} = 1200 \text{ кг/см}^2.$$

Участки III—IV—V. Сечение стойки из четырех уголков $120 \times 120 \times 10$ (фиг. 287).

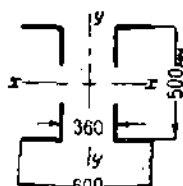
$$\omega = 23,18 \cdot 4 = 92,7 \text{ см}^2;$$

$$I_{yy} = 4(313,5 + 23,18 \cdot 21,3^2) = 39\,900 \text{ см}^4;$$

$$r_y = \sqrt{\frac{39\,900}{92,7}} = 20,9 \text{ см};$$

$$l = 806 \text{ см}; \quad \lambda_1 = 806 : 20,9 = 39; \quad r_0 = 3,67 \text{ см}; \quad l_0 = 60 \text{ см}; \quad \lambda_0 = 17;$$

$$\lambda = \sqrt{39^2 + 17^2} = 43; \quad \varphi = 0,875.$$



Фиг. 287

Напряжение металла стойки

$$K = \frac{97\,200}{92,7 \cdot 0,875} = 1200 \text{ кг/см}^2.$$

Стойка прикрепляется к фундаменту четырьмя болтами диаметром 32 мм.
Площадь сечения болтов

$$\omega = 5,76 \cdot 4 = 23 \text{ см}^2.$$

Напряжение материала болтов

$$K = 14\,000 : 23 = 610 \text{ кг/см}^2.$$

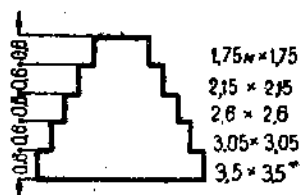
Для восприятия горизонтальных слагающих усилий стоек, возникающих у верха фундаментов, опорные концы стоек связаны восьмиугольным кольцом из двух угольников сечением $75 \times 75 \times 8$. Таким образом на фундаменты от стоек передается только вертикальное давление.

Усилие в связующем опорном кольце $\frac{117,8 \cdot 0,126}{2 \cdot \cos 67,5^\circ} = 19,5 \text{ т.}$

Площадь сечения кольца $\omega_{\text{грунто}} = 22,94 \text{ см}^2$; $\omega_{\text{метallo}} = 9,87 \cdot 2 = 19,74 \text{ см}^2$.

Напряжение металла кольца

$$K = 19\,500 : 19,7 = 990 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 288

Заклепки в стыках $d_s = 20 \text{ мм}$, число срезов $n = 8$ и напряжение заклепок на срез

$$K = 19\,500 : 8 \cdot 3,14 = 780 \text{ кг/см}^2.$$

Площадь опорной плиты под стойку

$$\omega = 130 \cdot 90 = 11\,700 \text{ см}^2.$$

Давление на кладку фундамента

$$K = 117\,800 : 11\,700 = 10,1 \text{ кг/см}^2.$$

Фундамент под стойку. Сочение фундамента показано на эскизе (фиг. 288).

Вес фундамента под стойку и грунта над ним

$$0,6(1,75^2 + 2,15^2 + 2,6^2 + 3,05^2 + 3,5^2) \cdot (2,0 - 1,6) + 1,6 \cdot 3,5^2 \cdot 3 = 67,4 \text{ т.}$$

Полное давление

$$67,4 + 82,5 + 34 + \frac{(5,4 + 10,55 + 9,9 + 9,1 + 8,1 + 3,75) \cdot 3}{2 \cdot 18} = 187,8 \text{ т.}$$

Площадь прилегания к грунту:

$$350 \cdot 350 = 122\,500 \text{ см}^2.$$

Давление на грунт:

$$187\,800 : 122\,500 = 1,54 \text{ кг/см}^2.$$

Диагонали решетки. Наибольшее усилие в диагонали 13,4 т.

Сечение диагоналей два угольника $75 \times 75 \times 8$; площадь сечения

$$\omega_{\text{грунто}} = 22,94 \text{ см}^2; \omega_{\text{метallo}} = 19,74 \text{ см}^2.$$

Напряжение металла диагонали

$$K = 13\,400 : 19,74 = 680 \text{ кг/см}^2.$$

Свободная длина диагонали 517 см, радиус инерции сечения $r = 2,26$ см и гибкость стержня диагонали $\lambda = 517 : 2,26 = 229$.

Диагонали в вышележащих панелях рассчитываются аналогичным образом.

Распорки решетки. Распорки в плоскостях 1—1' и 2—2'. Усилие в распорках 7,67 т.

Сечение распорки (фиг. 289) — угольники $75 \times 75 \times 8$.

Площадь сечения $\omega = 11,47 \cdot 4 = 45,88 \text{ см}^2$.

Свободная длина распорки $l = 610$ см.

Наименьший радиус инерции $r_0 = 3,5$ см.

Гибкость $\lambda = 610 : 3,5 = 174$ и $\varphi = 0,21$.

Напряжение металла от сжатия

$$K = \frac{7670}{45,88 \cdot 0,21} = 795 \text{ кг/см}^2.$$

Вес распорки 50 кг/м.

Изгибающий момент от собственного веса распорки составляет

$$M = \frac{50 \cdot 6,1 \cdot 610}{8} = 23\,200 \text{ кгсм}.$$

Момент сопротивления сечению распорки $W = 69 \text{ см}^3$.

Напряжение материала распорки от изгиба собственным весом

$$K = 23\,200 : 69 = 335 \text{ кг/см}^2.$$

Суммарное напряжение материала распорки

$$K_{\text{суммар}} = 795 + 335 = 1130 \text{ кг/см}^2.$$

Прогиб распорки под влиянием собственного веса

$$f = \frac{5}{24} \cdot \frac{K}{E} \cdot \frac{l^2}{h} = \frac{5}{24} \cdot \frac{335}{2\,100\,000} \cdot \frac{610^2}{16} = 0,77 \text{ см}.$$

Распорки в плоскости 3—3.

Усилие в распорках 4,3 т.

Сечение распорки (фиг. 289) — угольники $65 \times 65 \times 8$.

Площадь сечения $\omega = 9,33 \cdot 4 = 37,32 \text{ см}^2$.

Свободная длина распорки $l = 454$ см.

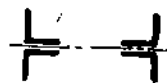
Наименьший радиус инерции $r_0 = 2,7$ см.

Гибкость $\lambda = l : r_0 = 454 : 2,7 = 168$ и $\varphi = 0,274$.

Напряжение материала распорки от сжатия

$$K = \frac{4800}{37,32 \cdot 0,274} = 400 \text{ кг/см}^2$$

Вес распорки 40 кг/м.



Фиг. 289

Изгибающий момент от веса

$$M = \frac{40 \cdot 4,54 \cdot 454}{8} = 10\,300 \text{ кгсм.}$$

Момент сопротивления распорки $W = 41 \text{ см}^3$ и дополнительное напряжение от изгиба

$$K = 10\,300 : 41 = 252 \text{ кг/см}^2.$$

Суммарное напряжение

$$K = 400 + 252 = 652 \text{ кг/см}^2.$$

Сечение распорок в остальных плоскостях такое же.

Кроме вышеописанных типов водных резервуаров и их опор применяются водохранилища в виде высоких резервуаров небольшого сравнительно с высотой диаметра, устанавливаемые непосредственно на уровне земли, имеющие распространение в Америке.

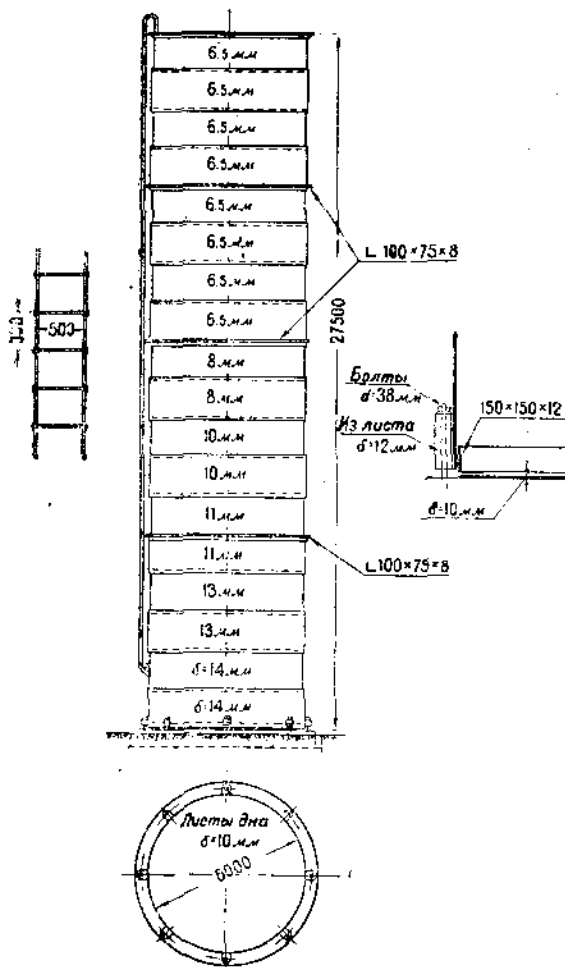
Поддерживающей частью в этой конструкции является нижняя часть резервуара с заполняющей ее водой.

Пример такой конструкции водохранилищ приведен на фиг. 290.

Прямоугольные резервуары

Прямоугольные резервуары применяются почти исключительно для хранения в них воды, как питьевой, так и для противопожарных или промышленных целей.

В последнем случае они применяются, например в виде питательных и охлаждающих баков в котельных установках или в виде специальных металлических ящиков, содержащих непрерывно сменяемую воду, предназначенную для охлаждения погруженных в нее и располагаемых внутри ящиков холодильников и конденсаторов, состоящих из ряда труб, как это, например, имеет место в нефтяном хозяйстве на нефтеперегонных заводах. Иногда такие резервуары употребляются для специальных целей в виде квасильных чапов на дрожжевых заводах и пр.



Фиг. 290

Прямоугольные резервуары для перечисленных целей применяются на практике сравнительно небольших емкостей, в пределах до 200 м³; поскольку они тяжелее и, следовательно, дороже круглых вертикальных резервуаров, применение их должно быть ограничено и оправдано строгой необходимостью иметь именно прямоугольную форму резервуара.

Во всех остальных случаях, где нет этой необходимости, следует переходить к более экономичным вертикальным круглым бакам.

В зависимости от назначения прямоугольного резервуара видоизменяются обычно и конструкции его; причем различают следующие две основные разновидности их: 1) резервуары с внутренними связями и 2) резервуары, свободные внутри, в которых постановка внутренних креплений недопустима или по производственным соображениям (как, например, квасильные чаны), или вследствие установки в резервуарах других элементов (например элементов поверхностных холодильников из труб).

§ 4. Конструкция прямоугольных резервуаров

Резервуары с внутренними связями

Постановка креплений стенок в виде продольных и поперечных горизонтальных связей между ними, располагаемых в различных по высоте резервуара горизонтальных плоскостях, имеет целью облегчение веса стенок резервуара. Связи, соединяющие стенки резервуара, работают только на растяжение и состоят из полосового или углового железа малого профиля и сами по себе составляют небольшой сравнительно вес, между тем как стенки разбиваются ими на ряд небольших пролетов, допускающих, таким образом, применение железа на стенки толщиной не более 5—6 мм и угольников жесткости по стенкам небольшого профиля. Швы листов корпуса прямоугольных резервуаров представляют обычно резервуарные плотные однородные швы внахлестку. Разбивка креплений по высоте делается по расчету, следуя закону распределения давления жидкости и давая одинаковое напряжение металла в элементах стенки. Соответственно этому в нижней части корпуса резервуара расстояние между связями-креплениями по высоте резервуара менее, чем в верхней. Расстояния же между креплениями по периметру корпуса резервуара по длинной и короткой сторонам корпуса остаются постоянными. Верхний край резервуара окаймляется угольником и в случае закрытого резервуара к нему прикрепляется крышка последнего, в случае же открытого резервуара по верхнему угольнику также располагается ряд продольных и поперечных связей подобно расположению ниже лежащих связей.

Прямоугольные резервуары устанавливаются обычно на полу или досчатом настиле или на балках. В некоторых случаях для резервуара устраивается особый фундамент из отдельных каменных столбов.

На фиг. 291 приведен пример такого резервуара размерами 5485 × 2135 мм, высотой 2135 мм, установленного на столбах из каменной кладки и деревянных брусках, подкладываемых под дно.

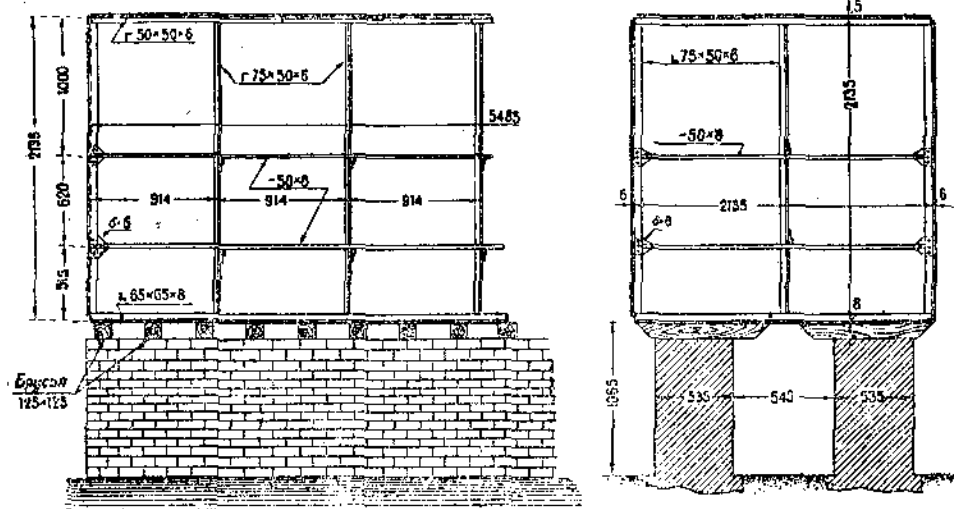
Так как под дном резервуара не имеется сплошного настила, то толщина железа для дна принята большей, чем для стенок, а именно — 8 мм.

Резервуар имеет крышку и поэтому связей по верхнему угольнику не ставится. Связи устанавливаются в двух горизонтальных плоскостях и состоят из полосового железа 50 × 6 мм. Вертикальные угольники жесткости по

стенкам резервуара имеют сечение $75 \times 50 \times 6$ и приклепываются заклепками диаметром 10—12 мм, с расстоянием между центрами их до (8—10) d .

На фиг. 292 показан подобный резервуар емкостью 125 м³, устанавливаемый непосредственно на полу.

Толщина железа стенок и дна резервуара составляет 6 мм. Вертикальные уголки жесткости по стенкам сечением $75 \times 75 \times 8$. Продольные и поперечные связи во всех горизонтальных плоскостях, кроме верхней, из углового железа $50 \times 50 \times 5$. В плоскости верхнего угольника, ввиду того, что резервуар открытый, также расположены связи — параллельно короткой стороне из углового железа $50 \times 50 \times 5$, а остальные из полосы 50×6 ; с целью иметь по возможности более открытый доступ сверху резервуара полосовые связи располагаются так, как показано на чертеже.



Фиг. 291

Фиг. 293 представляет конструкцию резервуара подобного же типа, но больших размеров, а именно — с площадью дна 8500×6000 мм, высотой 3500 мм.

Большая высота резервуара требует установки связей в четырех горизонтальных плоскостях, не считая верхней плоскости крышки. Толщина железа дна и стенок 6 мм, толщина железа крышки 3 мм. По стенкам резервуара располагаются угольники жесткости сечением $75 \times 75 \times 8$ мм, через 667 и 654 мм. Продольные и поперечные связи из угольников $45 \times 45 \times 5$.

Вес резервуаров с внутренними связями составляет:

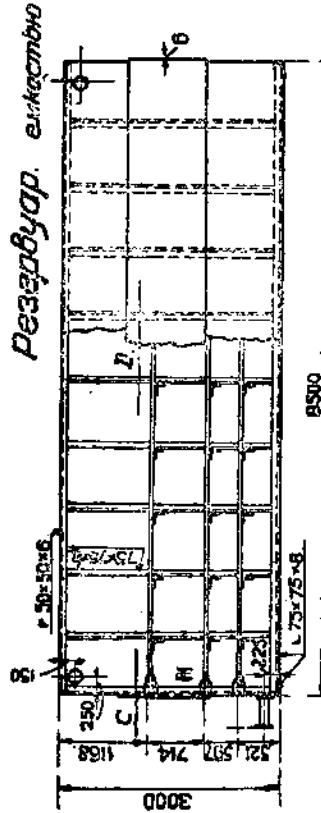
при емкости до	20 м ³	..	140—130 кг	на 1 м ³ емкости
»	»	»	50 »	.. 120 »
»	»	»	150—200 »	.. 90—80 »

Резервуары без внутренних связей

В том случае когда в резервуаре не допускается постановка связей и внутренний объем резервуара должен быть свободным, крепление стенок резервуара должно быть все перенесено наружу резервуара в виде

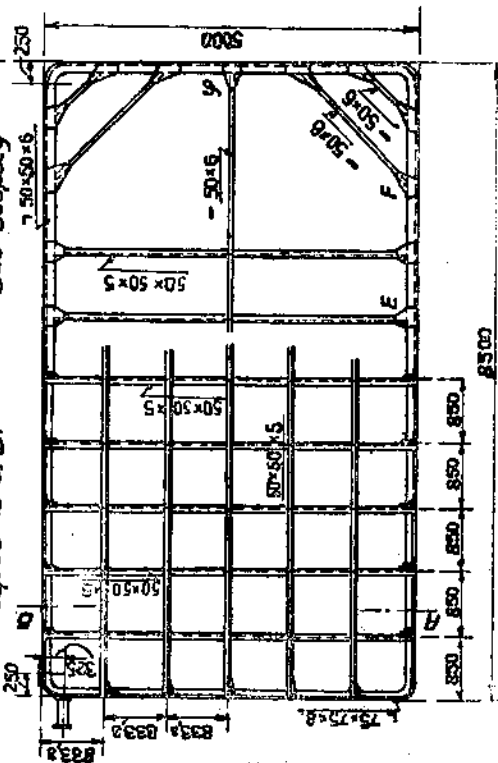
Резервуар емкостью 125 м³

Разрез по АБ

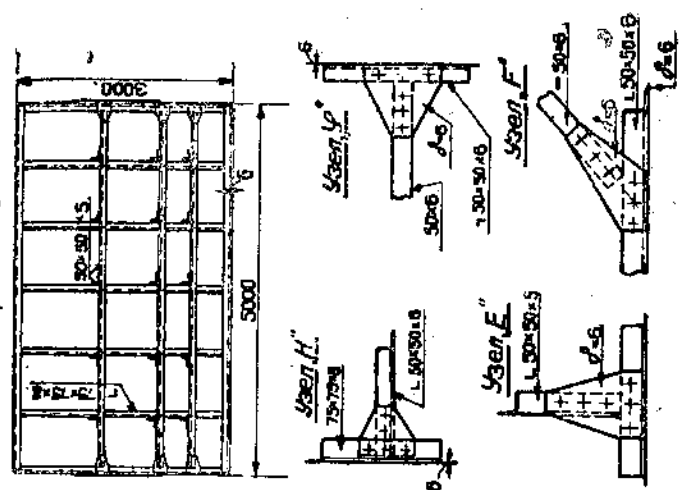


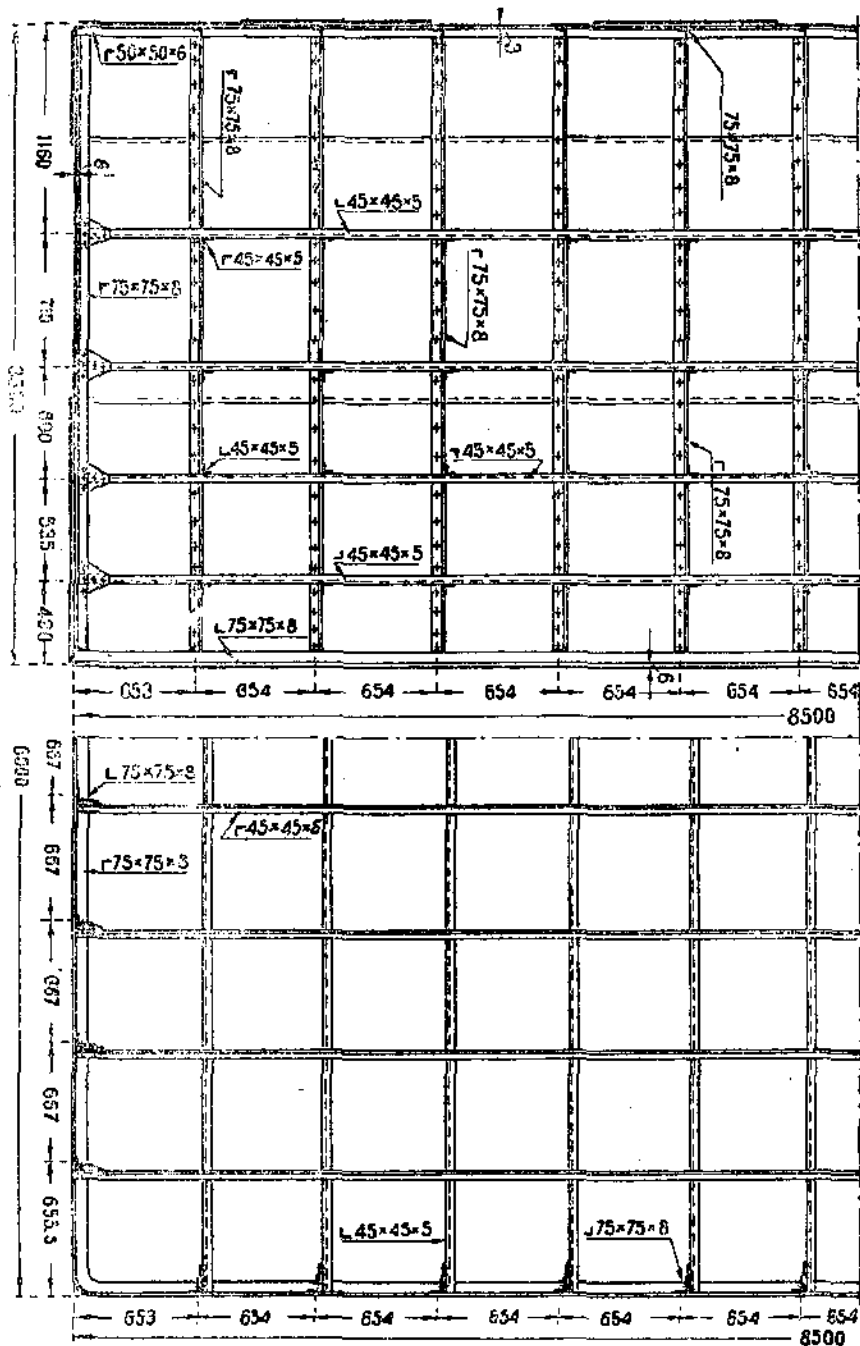
Разрез по С-Д

Вид сверху



Фиг. 202

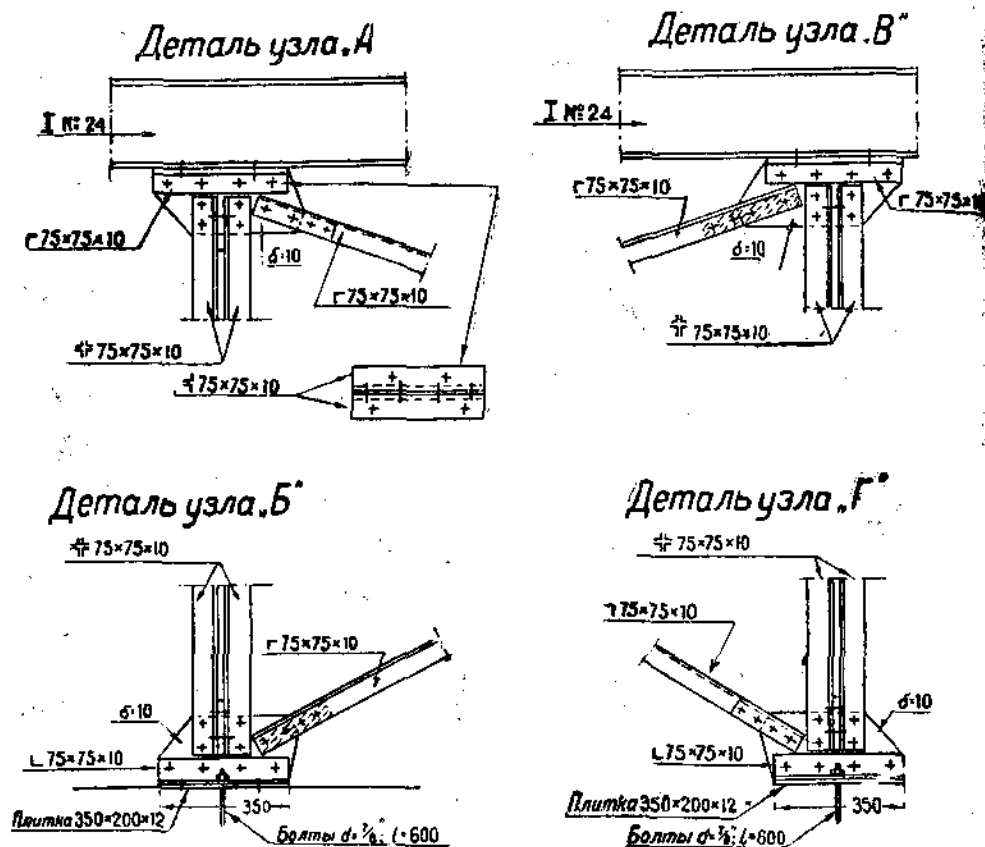




Фиг. 293

каркаса; при этом стойки каркаса при пролете, равном высоте резервуара, приходится конструировать из более мощных профилей по сравнению с угольниками жесткости в резервуарах со связями, что отражается, конечно, на общем весе резервуара в сторону его увеличения.

На фиг. 294 представлен такой резервуар с основанием 7000×2300 мм и высотой 1250 мм, установленный на специальной металлической конструкции, а на фиг. 295 даны детали этой поддерживающей конструкции.



Фиг. 295

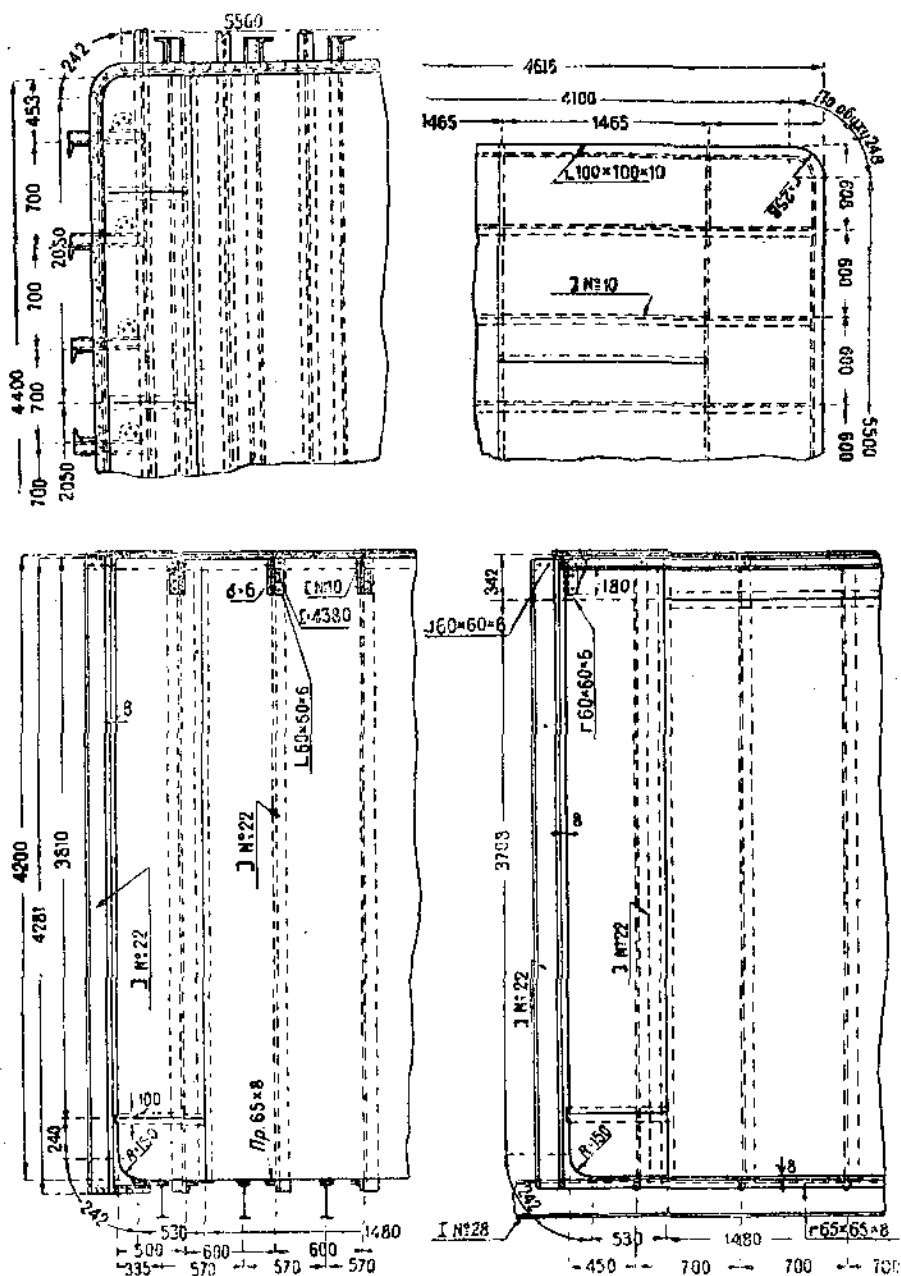
Каркас резервуара расположен по наружной стороне стенок и состоит по стенкам из стоек углового сечения $75 \times 75 \times 10$, а по дну — из балочек швеллеров № 10. Наибольшее расстояние между стойками и балочками 800 мм. Толщина железа стенок и дна 6 мм; все швы — односторонней паружной накладкой, так как по производственным соображениям для данного резервуара требовалась совершенно гладкая внутренняя поверхность.

Стойки каркаса прикреплены к стенкам только двумя заклепками, горизонтальные швеллера же совершенно не приклепываются к дну и связаны только в углах со стойками каркаса.

Поддерживающая резервуар конструкция спроектирована с целью

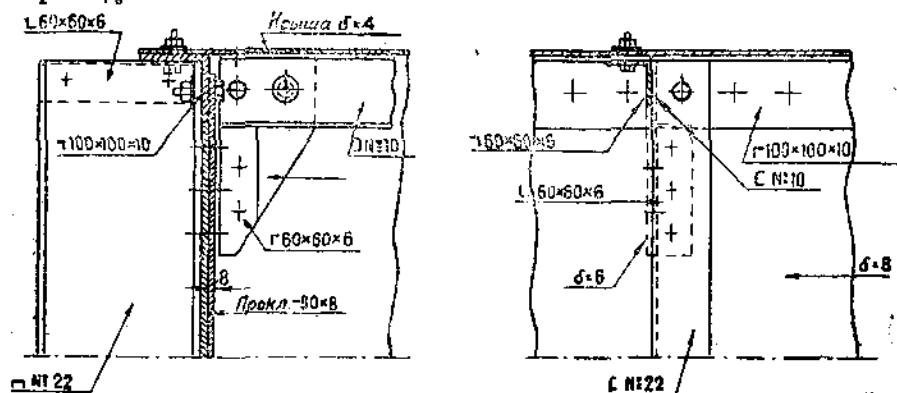
облагачения профиля балок с консольными концами, благодаря чему и вся подставка получилась компактной.

На фиг. 296 приведен пример аналогичного резервуара с основанием 5500×4400 мм и высотой 4200 мм, а на фиг. 297 — детали креплений каркаса.

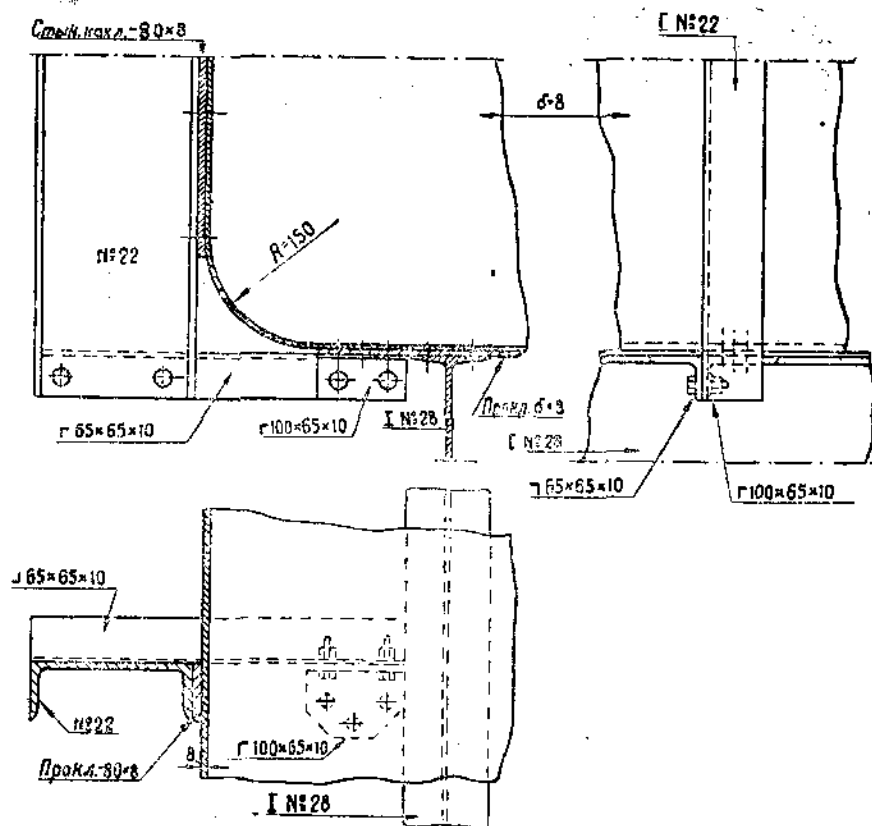


Фиг. 296

Бока и днище резервуара из железа толщиной 8 мм, а крыша из листов толщиной 4 мм. Каркас стенок состоит из стоек швеллерного железа (№ 22), расположенных через 600 мм, и приваренных к стенкам и скрепленных с верхним угольником сечением $100 \times 100 \times 10$ болтами диаметром $\frac{5}{8}$ ".



Детали крепления швеллеров жесткости.



Нижние концы швеллерных стоек связываются уголками, идущими под днищем, сечением $65 \times 65 \times 8$, причем последние с днищем не склеиваются.

Все швы сварные, одинарные с наружной накладкой; нижние концы швеллерных стоек, расположенных по коротким сторонам, прикрепляются к днищу на болтах, как показано в деталях креплений. Кроме вышеуказанных прямоугольных резервуаров приведем примеры некоторых разновидностей указанных типов, представляющих собой интерес в конструктивном отношении.

На фиг. 298 показан резервуар емкостью 417 м^3 , изготовленный в виде десятигранника и имеющий поперечное сечение в виде прямоугольника основанием 3540 мм и высотой 2845 мм .

Резервуар имеет в двух диаметрально противоположных углах десятигранника две перегородки, разделяющие его на две равные по объему части.

Резервуар установлен в железобетонной бапне, имеющей форму десятигранника, чем и объясняется выбранная форма резервуара.

На фиг. 299 и 300 показаны конструктивные детали устройства резервуара.

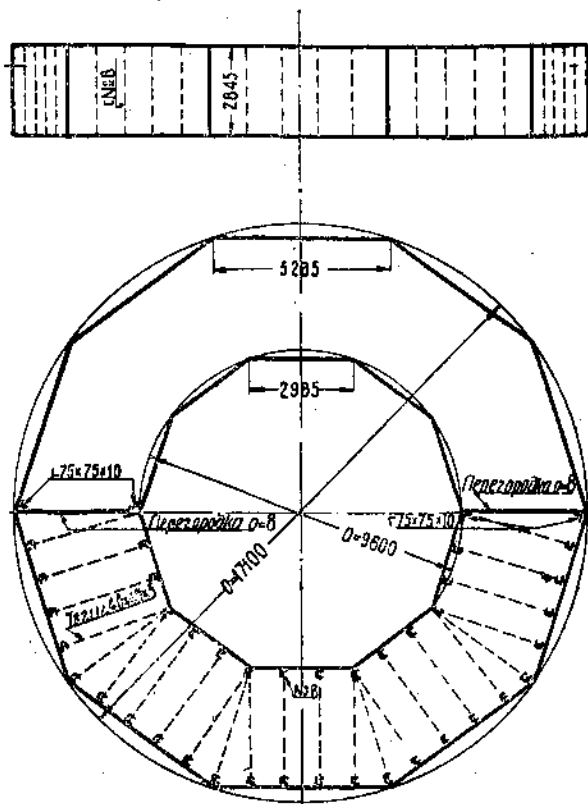
Стенки и дно резервуара имеют толщину железа 8 мм . Резервуар внутри свободен от связей по всей высоте и крепление стенок его, расположенное с внутренней стороны, состоит из швеллеров № 18, поставленных на взаимном расстоянии в 995 мм .

Нижний и верхний обвязочные угольники имеют сечение $90 \times 90 \times 10$; причем по верхнему угольнику у верхних концов швеллерных стоек расположены связывающие угольники сечением $40 \times 40 \times 5$.

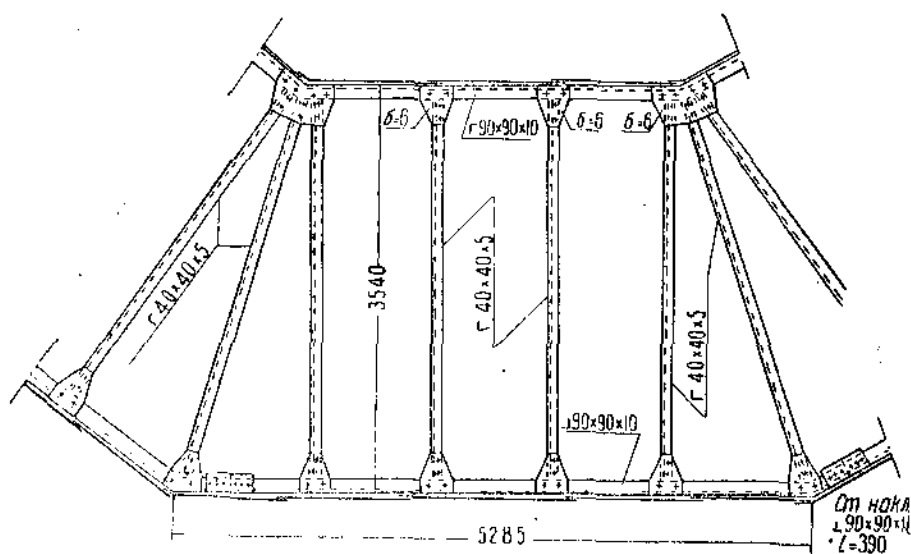
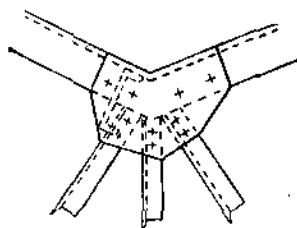
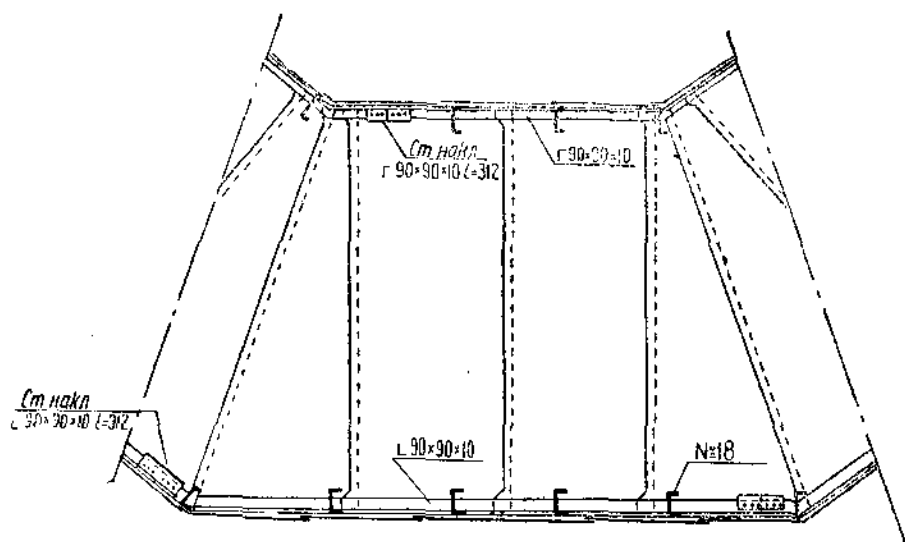
На фиг. 301 показаны детали устройства перегородки. Все швы одинарные внахлестку.

На фиг. 302 и 303 показан резервуар емкостью 50 м^3 , аналогичный по конструкции предыдущему, но представляющий собой разомкнутый двадцатигранник.

В поперечном сечении резервуар представляет собой прямоугольник стороной 1529 мм , высотой 1524 мм . Размеры и форма резервуара обу-



Фиг. 298



Фиг. 299

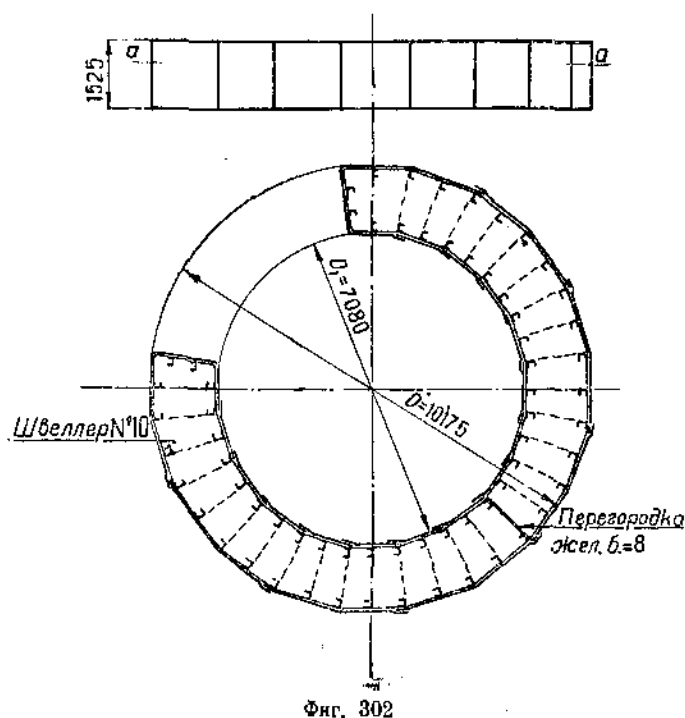
довлены размерами и конфигурацией башины. Резервуар разбит перегородкой на две равные по объему части.

Толщина железа стенок 6 мм, дна 8 мм. Стенки укреплены вертикальными стойками из швеллеров сечением № 10. Нижний и верхний обвязочные угольники сечением $75 \times 75 \times 8$. По верхнему угольнику между концами стоек расположены связи из углового железа сечением $40 \times 40 \times 5$. Все швы одинарные нахлестку.

Вес резервуаров без внутренних связей составляет:

при емкости до 20 м ³	180 кг на 1 м ³ емкости
» » » 80—100 м ³	110—100 » » » » »

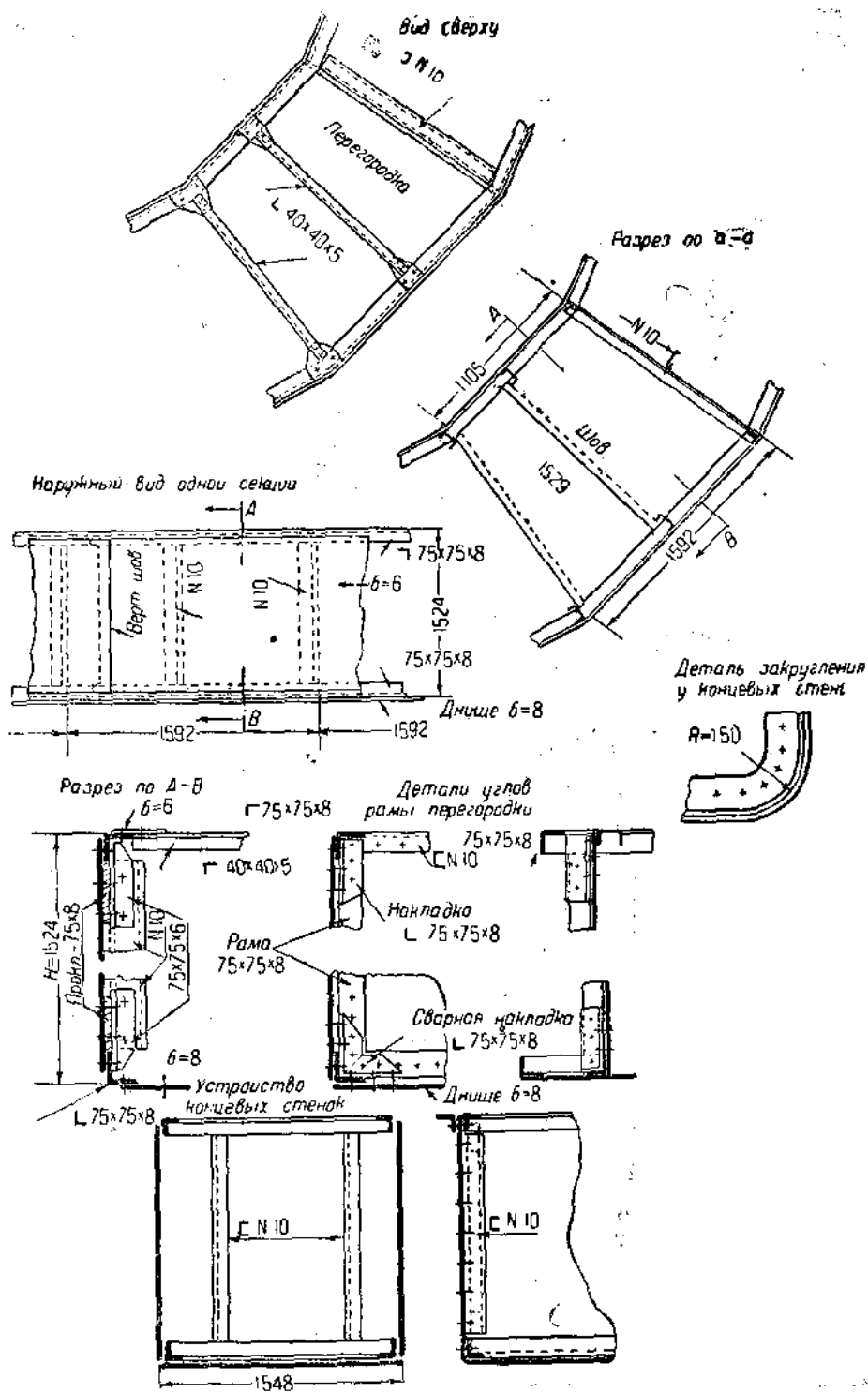
Гринельный резервуар емкостью 50 м³



Приведенные выше в примерах резервуары в виде многогранников весят:

резервуар емкостью 417 м ³	35,5 т
» » 50 »	8,3 »

Прямоугольные резервуары из штампованных ребристых плит. Эти резервуары строятся без внутренних связей и без наружного каркаса, поскольку стенки их состоят из штампованных ребристых плит, противостоящих сами по себе изгибающим усилиям.



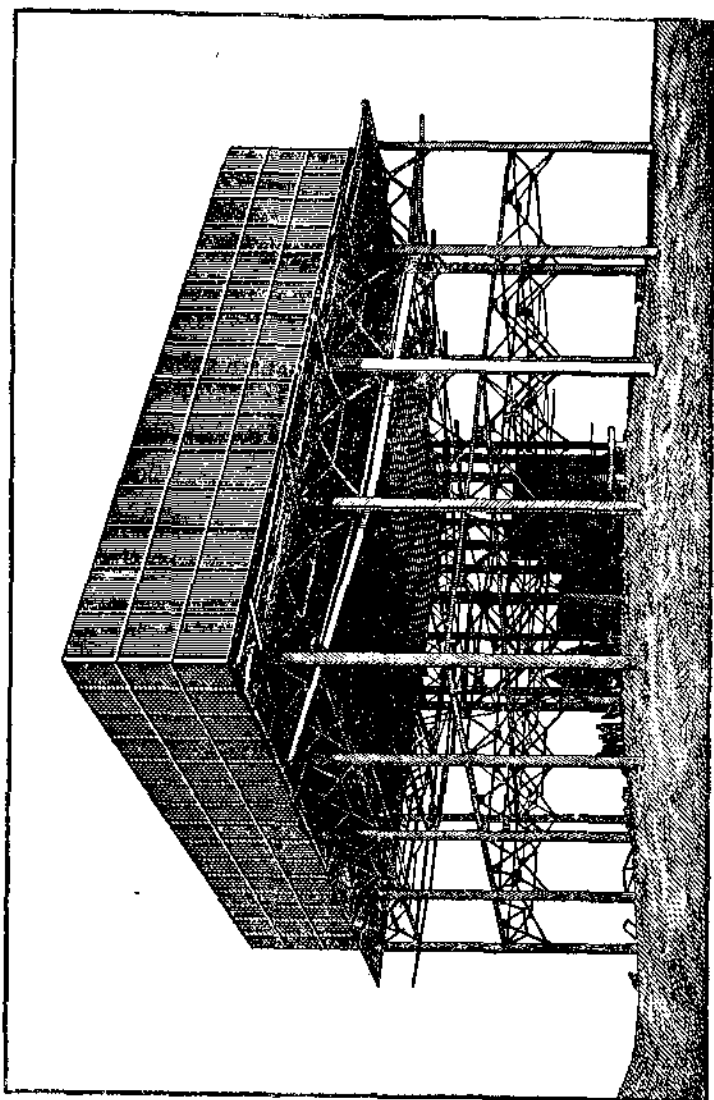
Фиг. 303



Фиг. 304

Фиг. 304 дает представление о конструкции этих резервуаров, фиг. 305 показывает собранный из таких плит резервуар размерами $18,5 \times 18,5$ м, высотой 3,8 м, установленный на металлической опоре.

Отдельные плиты, из которых составляется резервуар, изготавливаются размерами $1,2 \times 1,2$ м и $1,5 \times 1,5$ м.



Фиг. 305

§ 5. Расчет прямоугольных резервуаров

Обозначим через (фиг. 306):

l — длину резервуара в см,

b — ширину резервуара в см,

H — высоту резервуара в см,

δ — толщину стенок в см,

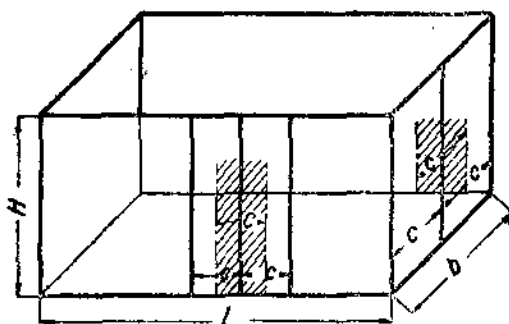
δ_0 — толщину дна в см,

γ — вес единицы объема жидкости в $\pi/\text{см}^3$.

Давление жидкости на стенку резервуара изменяется по высоте от нуля до $H\gamma$.

Рассматривая стенку, как прямоугольную пластину, укрепленную по периметру и подверженную среднему давлению $\frac{1}{2}H\gamma$, равномерно распределенному по всей ее площади, будем иметь по общему условию прочности для такого случая

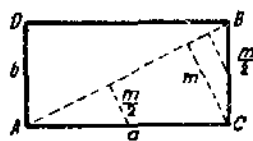
$$K = 0,5 \cdot \gamma \cdot \frac{b \cdot H^2}{b + H^2} \cdot \frac{p}{\delta^2}.$$



Фиг. 306

Уравнение это может быть выведено следующим образом.

Пусть $ABCD$ — прямоугольная пластинка со сто-



Фиг. 307

ронами a и b , равномерно нагруженная давлением p и свободно лежащая по краям (фиг. 307). Проведем диагональ AB и определим изгибающий момент относительно нее.

Реакции опор ACB и ADB будут равны $\frac{pab}{2}$. Плечо реакции равно $\frac{m}{2}$, где

$$m = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Момент треугольника ABC относительно AB

$$M = \frac{pab}{2} \cdot \frac{m}{2} - \frac{pab}{2} \cdot \frac{m}{3} = \frac{pab}{12} m.$$

Если толщина пластинки δ , то момент сопротивления ее по сечению AB равен

$$W = \frac{\delta^3 \sqrt{a^2 + b^2}}{6}.$$

Следовательно,

$$M = W \cdot K,$$

$$\frac{pab}{12 \cdot \sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\delta^2 \cdot \sqrt{a^2 + b^2}}{6} \cdot K;$$

откуда

$$K = 0,5 \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{a^2 + b^2} \cdot \frac{p}{\delta^2}.$$

Обычно принимают для расчета $K = \varphi \cdot 0,5 \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{a^2 + b^2} \cdot \frac{p}{\delta^2}$, где φ — коэффициент, зависящий от степени закрепления опор, принимаемый равным $\varphi = \frac{3}{4}$.

При подстановке в эту формулу вместо $a = l$, $b = H$, $p = \frac{H \cdot \gamma}{2}$ получим

$$K = \frac{1}{4} \varphi \cdot \frac{l^2 \cdot H^2}{H^2 + l^2} \cdot \frac{H \gamma}{\delta^2}.$$

Для другой стенки вместо a необходимо подставить $a = b$.

При $\varphi = \frac{3}{4}$

$$K = \frac{3}{16} \cdot \frac{H^2 \cdot l^2}{H^2 + l^2} \cdot \frac{H \gamma}{\delta^2}; \quad (77)$$

откуда толщина стенки

$$\delta = \frac{H \cdot l}{4} \sqrt{\frac{3}{H^2 + l^2} \cdot \frac{H \gamma}{K}}. \quad (78)$$

Толщина стенки δ при таком расчете получается очень большой; поэтому свободную площадь стенки уменьшают, располагая по периметру резервуара по его стенкам на равных расстояниях друг от друга вертикальные угольники жесткости, связывая противоположные угольники в разных точках по высоте тягами из полосового или углового железа или располагая по стенкам резервуара горизонтальные угольники со связями в разных по высоте резервуара плоскостях; толщина стенок резервуара при этом составляет 5—6 мм.

В первом случае, т. е. при укреплении стенок прямоугольного резервуара вертикальными угольниками жесткости, расстояние c между ними при данной толщине δ железа для стенок определяется из уравнений (77) и (78) при подстановке в них вместо l величины c :

$$\delta = \frac{H \cdot c}{4} \sqrt{\frac{3}{H^2 + c^2} \cdot \frac{H \gamma}{K}};$$

откуда

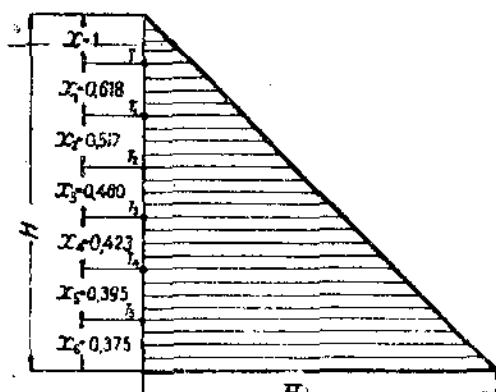
$$c = 4H\delta \sqrt{\frac{K}{3H^2\gamma - 16\delta^2K}}. \quad (79)$$

При расположении вертикальных угольников жесткости на расстоянии c друг от друга по периметру резервуара взаимные расстояния между связями-тягами, располагаемыми по угольникам, определяются из условия равенства моментов на отдельных участках угольника.

Давление воды на стенку распределяется по закону треугольника с основанием, равным глубине рассматриваемой точки под уровнем жидкости (фиг. 308).

Пусть H — высота стенки резервуара, а следовательно, и вертикального угольника, и пусть последний разбит на промежутки величиной x, x_1, x_2 и т. д.

Расстояние между угольниками, как сказано было выше, принято с. Для промежутков x и x_1 имеем:



Фиг. 308

$$\gamma c \cdot \frac{x^2}{2} \cdot \frac{x}{8} = \frac{(x+x_1)^3 - x_1^3}{2} \cdot \frac{x_1}{8} \gamma c;$$

откуда

$$x_1^3 + 2x \cdot x_1^2 - x^3 = 0.$$

Деля это равенство на $x_1 + x$, получим

$$x_1^2 + x_1 x - x^2 = 0$$

и

$$x_1 = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} \cdot x.$$

Полагая $x=1$, получим $x_1=0,618$.

Для промежутков x_2 и x имеем

$$\gamma c \cdot \frac{x^3}{16} = \frac{(x_2 + x_1 + x)^3 - (x_1 + x)^3}{2} \cdot \frac{x^2}{8} \gamma c;$$

откуда

$$x_2^3 + 2(x_1 + x)x_2^2 - x^3 = 0.$$

При $x=1$ и $x_1=0,618$ имеем

$$x_2^3 + 2 \cdot 1,618 \cdot x_2^2 - 1 = 0.$$

Решая это уравнение, получим $x_2=0,517$.

Рассуждая таким же порядком, получим

$$\begin{aligned} \text{для } x_3 \dots x_3^3 + 2 \cdot 2,135 x_3^2 - 1 &= 0 \text{ и } x_3 = 0,460 \\ \text{» } x_4 \dots x_4^3 + 2 \cdot 2,595 x_4^2 - 1 &= 0 \text{ и } x_4 = 0,423 \\ \text{» } x_5 \dots x_5^3 + 2 \cdot 3,018 x_5^2 - 1 &= 0 \text{ и } x_5 = 0,395 \\ \text{» } x_6 \dots x_6^3 + 2 \cdot 3,413 x_6^2 - 1 &= 0 \text{ и } x_6 = 0,375 \end{aligned}$$

Зная эти соотношения и высоту H и определяя по допускаемому напряжению для уголка заданного момента сопротивления максимальную величину x , легко определить, какое число рядов связей необходимо поставить на высоте H .

Величина x определится из уравнения

$$M = \gamma c \frac{x^3}{16} = W \cdot K,$$

где W — момент сопротивления угольника жесткости стенки:

$$x = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W \cdot K}{\gamma c}}. \quad (80)$$

Определив же число рядов связей, заданную высоту H резервуара разбиваем пропорционально числам x, x_1, x_2 и т. д., принимая при этом то число промежутков, на которое разбита высота резервуара.

Усилия в связях. Усилия T, T_1, T_2 и т. д., разрывающие связи (фиг. 308), определяются из следующих равенств, которые получим, беря для верхней связи давление, приходящееся на нее от вышележащей нагрузки по треугольнику и от нижележащей нагрузки по трапеции, а для последующих связей от вышележащей и нижележащей нагрузок по трапециям

$$T = \gamma c \left[\frac{x^2}{3} + \frac{x_1(x_1 + 3x)}{6} \right], \quad (81)$$

$$T_1 = \gamma \frac{c}{6} \{ x_1(2x_1 + 3x) + x_2[x_2 + 3(x_1 + x)] \}, \quad (82)$$

$$T_2 = \gamma \frac{c}{6} \{ x_2[2x_2 + 3(x_1 + x)] + x_3[x_3 + 3(x_2 + x_1 + x)] \}, \quad (83)$$

$$T_3 = \gamma \frac{c}{6} \{ x_3[2x_3 + 3(x_2 + x_1 + x)] + x_4[x_4 + 3(x_3 + x_2 + x_1 + x)] \} \quad (84)$$

и т. д.

При числе промежутков n

$$T_{n-2} = \gamma \frac{c}{6} \left\{ x_{n-2} [2x_{n-2} + 3(x_{n-3} + x_{n-4} + \dots + x)] + x_{n-1} [x_{n-1} + 3(x_{n-2} + x_{n-3} + \dots + x)] \right\}. \quad (85)$$

В этих равенствах величинам x, x_1, x_2, x_3 и т. д. придаются различные числовые значения в зависимости от числа промежутков, на которое разделена стенка; эти величины приведены в следующей таблице.

Значения x, x_1, x_2, x_3 и т. д.	Число промежутков					
	2	3	4	5	6	7
x	0,62 H	0,47 H	0,365 H	0,332 H	0,293 H	0,264 H
x_1	0,33 H	0,29 H	0,238 H	0,205 H	0,181 H	0,163 H
x_2	—	0,4 H	0,200 H	0,170 H	0,151 H	0,137 H
x_3	—	—	0,177 H	0,153 H	0,135 H	0,121 H
x_4	—	—	—	0,140 H	0,124 H	0,112 H
x_5	—	—	—	—	0,116 H	0,104 H
x_6	—	—	—	—	—	0,099 H
Число рядов связей . .	1	2	3	4	5	6
Усилия в связях по уравнению для . .	T	T и T_1	T, T_1 , и T_2	$T, T_1,$ T_2 и T_3	T, T_1, T_2 T_3 и T_4	$T, T, T_2,$ T_3, T_4 и T_5

При одном ряде связей усилия будут

$$T = H^2 \gamma c \left[\frac{0,62^2}{3} + \frac{0,33 \cdot 2,24}{6} \right] = 0,27 H^2 \gamma c.$$

При двух рядах связей усилия в связях будут в верхнем ряду

$$T = H^2 \gamma c \left[\frac{0,47^2}{3} + \frac{0,29 \cdot 1,7}{6} \right] = 0,155 H^2 \gamma c;$$

нижнем ряду

$$T_1 = H^2 \gamma c \frac{1}{6} [0,29(0,58 + 1,41) + 0,24(0,24 + 3 \cdot 0,76)] = 0,197 H^2 \gamma c.$$

В случае большого числа рядов связей усилия в них определяются аналогичным образом.

В случае устройства крепления стенок помощью горизонтальных угольников жесткости взаимные расстояния этих угольников по высоте стенки должны также соответствовать указанным выше соотношениям между x , x_1 , x_2 и т. д. для удовлетворения условию равнопрочности металла стенки во всех промежутках.

Величина верхнего промежутка x определяется при этом из уравнения

$$K = \frac{3}{8} \cdot \frac{E x^2}{l^2 + x^2} \cdot \frac{p}{\delta}, \quad (86)$$

которое при $p = \gamma \frac{x}{2}$ обращается в уравнение

$$K = \frac{3}{16} \cdot \frac{E x^2}{l^2 + x^2} \cdot \frac{x \gamma}{\delta^2}. \quad (87)$$

Определив величину x и зная H , пользуясь указанными выше соотношениями между x , x_1 , x_2 и т. д., находим то число промежутков, на какое должна быть разделена стенка по высоте; после этого разбиваем стенку горизонтальными уголками, сохраняя между ними упомянутые выше соотношения для определенного числа промежутков.

Напряжения металла в стенках проверяются по приведенной выше формуле, причем при двух промежутках по высоте будем иметь:

в первом верхнем промежутке $K = \frac{3}{8} \gamma \frac{x}{\delta^2} \cdot \frac{E x^2}{l^2 + x^2}$, где $x = 0,62 H$;

во втором нижнем промежутке $K = \frac{3}{8} \gamma \left(x + \frac{x_1}{2}\right) \frac{E x^2}{l^2 + x^2}$, где $x_1 = 0,38 H$.

При трех промежутках:

в верхнем промежутке $K = \frac{3}{8} \gamma \frac{x}{\delta^2} \cdot \frac{E x^2}{l^2 + x^2}$, где $x = 0,47 H$;

в среднем промежутке $K = \frac{3}{8} \gamma \left(x + \frac{x_1}{2}\right) \frac{E x^2}{l^2 + x^2}$, где $x_1 = 0,29 H$;

в нижнем промежутке $K = \frac{3}{8} \gamma \left(x + x^2 + \frac{x_2}{2}\right) \frac{E x^2}{l^2 + x^2}$, где $x_2 = 0,24 H$.

В случае большого числа промежутков напряжения металла в стенке определяются аналогичным образом.

Нагрузка, падающая на горизонтальные угольники жесткости в пределах пролета c (расстояния между горизонтальными связями по угольнику) при двух промежутках будет

$$T = 0,27 \cdot H^2 \gamma c.$$

Изгибающий момент угольника $M = \frac{T \cdot c}{8}$.

Усилие в связях равно T .

При трех промежутках:

верхний угольник $T = 0,155 \cdot H^2 \gamma c$ и $M = \frac{T \cdot c}{8}$;

нижний угольник $T_1 = 0,197 \cdot H^2 \gamma c$ и $M = \frac{T_1 \cdot c}{8}$.

Пример расчета прямоугольного резервуара

Основные размеры резервуара даны следующими:

длина резервуара l	8500 мм
ширина » b	6000 »
высота » H	3500 »
толщина железа стенок δ	6 »

Расстояние c между вертикальными уголками жесткости по стенкам резервуара при заданных H и δ определяется по ур-нию (79)

$$c = 4 \cdot 350 \cdot 0,6 \sqrt{\frac{1200}{3 \cdot 350^2 \cdot 0,001 - 16 \cdot 0,6^2 \cdot 1200}} = 83,5 \text{ см.}$$

Принято $c = 66,7$ см; следовательно, напряжение металла стенки определяется по ф-ле (77); подставляя в нее вместо l величину $c = 66,7$ см, будет

$$K = \frac{3}{16} \cdot \frac{350^2 \cdot 66,7^2}{350^2 + 66,7^2} \cdot \frac{350 \cdot 0,001}{0,36} = 785 \text{ кг/см}^2.$$

Вертикальные уголки жесткости приняты сечением $75 \times 75 \times 8$.

Момент сопротивления уголка $W = 11 \text{ см}^3$.

Величина верхнего промежутка x по ф-ле (80)

$$x = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 11 \cdot 1200}{0,001 \cdot 66,7}} = 147 \text{ см.}$$

Угольник разбит по высоте на пять промежутков; следовательно, величины отдельных промежутков последовательно сверху будут

$$x = 0,332 \cdot 350 = 116 \text{ см; } x_2 = 0,170 \cdot 350 = 60 \text{ см;}$$

$$x_1 = 0,205 \cdot 350 = 71,5 \text{ см; } x_3 = 0,153 \cdot 350 = 53,5 \text{ см;}$$

$$x_4 = 0,140 \cdot 350 = 49 \text{ см.}$$

Суммируя, получим

$$116 + 71,5 + 60 + 53,5 + 49 = 350 \text{ см.}$$

Напряжение в уголке при этом будет

$$K = \gamma \frac{c \cdot x^2}{16 W} = \frac{116^2 \cdot 66,7 \cdot 0,001}{16 \cdot 11} = 590 \text{ кг/см}^2.$$

Усилия в связях по ф-лам (81), (82), (83) и (84)

$$T = 350^2 \cdot 0,001 \cdot 66,7 \left[\frac{0,832^3}{3} + \frac{0,205(0,205 + 3 \cdot 0,332)}{6} \right] = 8150 \cdot 0,077 = 628 \text{ кг;}$$

$$T_1 = 8150 \frac{1}{6} \left\{ 0,205(2 \cdot 0,205 + 3 \cdot 0,332) + 0,170[0,170 + 3 \cdot (0,205 + 0,332)] \right\} = 8150 \cdot 0,098 = 800 \text{ кг;}$$

$$T_2 = 8150 \frac{1}{6} \left\{ 0,17[2 \cdot 0,17 + 3(0,205 + 0,332)] + 0,153 \cdot [0,153 + 3(0,17 + 0,205 + 0,332)] \right\} =$$

$$= 8150 \cdot 0,113 = 920 \text{ кг;}$$

$$T_s = 8150 \frac{1}{6} \{ 0,153 [2 \cdot 0,153 + 3(0,170 + 0,205 + 0,332)] + \\ + 0,140 \cdot [0,140 + 3(0,153 + 0,170 + 0,205 + 0,332)] \} = \\ = 8150 \cdot 0,125 = 1020 \text{ кл.}$$

Сечение связей принято из углового железа $45 \times 45 \times 5$.

В случае когда днище резервуара устанавливается на балках, толщина железа дна в зависимости от расстояния c между балками определяется по формуле

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{\varphi}{2} \cdot \frac{b^2 \cdot c^2}{b^2 + c^2} \cdot \frac{H\gamma}{K}}. \quad (88)$$

Так как дно не связывается с балками, то

$$\varphi = 1 \text{ и } \delta_0 = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{b^2 \cdot c^2}{b^2 + c^2} \cdot \frac{H\gamma}{K}}, \quad (89)$$

где b — ширина резервуара,
 c — расстояние между балками.

Глава шестая

Резервуары специального назначения

Здесь следует упомянуть о резервуарах, предназначенных для специальных целей, как, например, резервуарах для хранения серной кислоты, аммиака и т. п., а также о спиртовых резервуарах.

Резервуары первого рода применяются как в виде вертикальных цилиндрических резервуаров, так и в виде горизонтальных. Как те, так и другие обычно имеют небольшие емкости.

Особенностями конструкции этих резервуаров является довольно значительная толщина железа корпуса резервуара, определяемая не расчетными соображениями, а условием обеспечения достаточного срока службы резервуара. Толщина железа в таких резервуарах принимается не ниже 8—12 мм и швы конструируются соответственно принятой толщине, исходя, главным образом, из условий плотности шва при достаточной прочности.

Во всем остальном указанные резервуары аналогичны разобранным выше цилиндрическим вертикальным резервуарам.

Что касается спиртовых резервуаров, то отличительной особенностью таких резервуаров является устройство дна. Спиртовые резервуары обычно располагаются на особых фундаментах, состоящих из каменных или бетонных столбов, и дно резервуара устанавливается на деревянных или металлических балочках, располагаемых на этих столбах.

Такое устройство фундамента применяется с той целью, чтобы иметь свободный доступ к швам днища; поэтому фундаментные столбы с балочками под дном должны быть так расположены по отношению к листам днища, чтобы они не закрывали швов днища и чтобы между столбами был возможен проход.

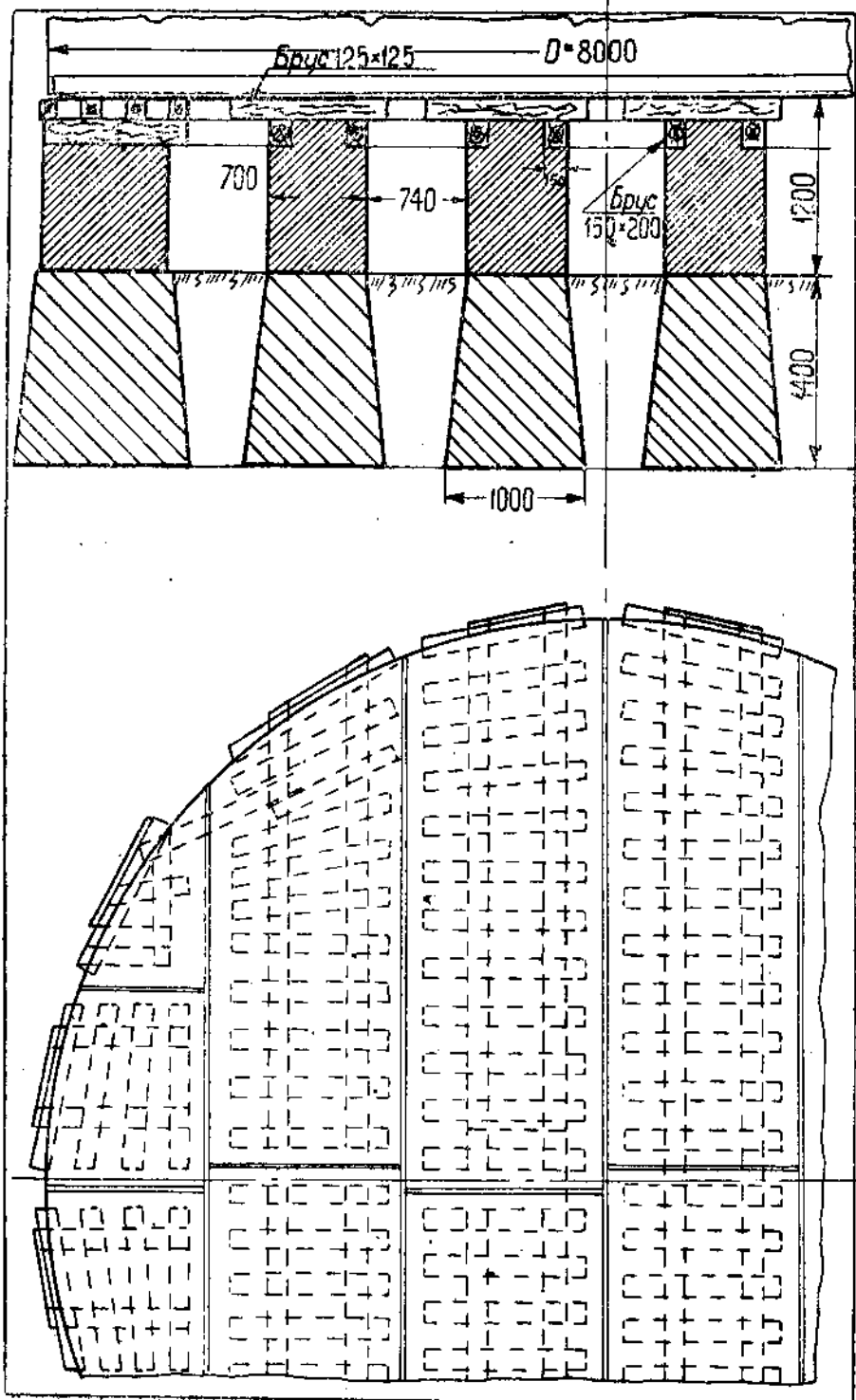
Вследствие этого толщина железа днища в спиртовых резервуарах получается значительной, и в больших резервуарах емкостью до 4000 м³ толщина днища доходит до 12 мм.

Конструкция фундамента и днища спиртового резервуара приведены на фиг. 309.

Во всем остальном спиртовые резервуары аналогичны вертикальным нефтяным цилиндрическим резервуарам.

Резервуары для серной кислоты также часто располагаются на некоторой высоте и в этом случае конструкция фундамента под резервуар аналогична показанной для спиртового резервуара.

Как спиртовые резервуары, так и резервуары для серной кислоты делаются с герметической крышей.



Фиг. 309

Глава седьмая

Сварные резервуары

Вопрос о сварке резервуаров для нефтепродуктов в настоящее время у нас еще не получил окончательного разрешения. За последние годы различными организациями было сварено несколько резервуаров небольших емкостей, но эти работы не определили в окончательной форме ни надлежащей конструкции сварных резервуаров, ни методов сварки их; в особенности это касается резервуаров больших емкостей.

Заграничный опыт в этом направлении значительно богаче примерами конструктивных решений, и американская практика имеет уже осуществленными в сварке и проверенными, таким образом, на практике конструкции сварных резервуаров больших емкостей.

Описываемые ниже конструкции сварных резервуаров в части конструкции самих корпусов резервуаров, а именно — применения при сооружении резервуара листов без обработки или с минимальной обработкой их и связанной с этим положением конструкций швов, а также предусматривающие метод сборки резервуаров без болтов, заключают в себе те же основные отправные положения и вытекающие из них конструктивные оформления, что и описанные выше американские резервуары.

Конечно, описываемые здесь решения отнюдь не могут считаться окончательными, поскольку они не подтверждены у нас практикой и, несомненно, потребуют тех или иных коррективов, которые определятся в результате их практического осуществления.

Существенным и самым важным вопросом при конструировании сварных вертикальных резервуаров является вопрос о выборе соответствующего типа швов, дающих, с одной стороны, гарантию прочности сварного соединения, а с другой — позволяющих производить работы по сооружению резервуара в короткое время и с минимальными затратами.

Очень важно также предусмотреть при конструировании сварного резервуара метод сборки и порядок сварки швов, устраняющие влияние усадки в швах на отдельные элементы резервуара, имеющее место при проварке длинных швов.

Насколько существенен второй вопрос, можно судить по американским данным по сварке резервуаров, когда при конструировании и выполнении не учитывалось это влияние усадки, что давало неудачные результаты сварки и последующие переделки¹.

¹ См. «Welding», vol. 2, № 11, 1931.

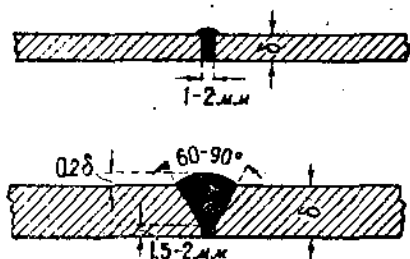
§ 1. Сварные соединения в вертикальных резервуарах

Аналогично соединениям в клепаных резервуарах сварные соединения могут быть характеризуемы коэффициентом их полезного действия. Определение к. п. д. в сварных соединениях совершенно иное, чем в клепаных.

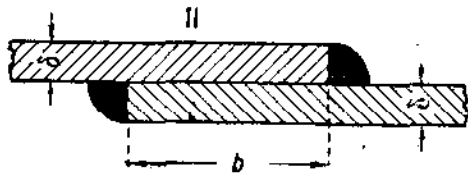
Под к. п. д. шва в сварных резервуарах подразумевается отношение усилия, могущего быть воспринятым швом, к усилию, могущему быть воспринятым основным металлом (листом пояса). Из этого определения видно, что к. п. д. сварного шва зависит от допускаемых напряжений шва и основного металла, в то время как в клепаных соединениях он не является функцией последних.

Помимо того, к. п. д. в соединениях с накладками, как мы увидим ниже, зависит также от конструктивного оформления шва (толщина и размер накладки).

Таким образом самое понятие к. п. д. шва в сварных соединениях является в достаточной степени условным, завися от целого ряда факторов нормативного и конструктивного ха-



Фиг. 310



Фиг. 311

рактера; к. п. д. сварного шва может быть меньше или больше единицы (см. ниже).

Все возможные типы сварных соединений были изложены в гл. 3, § 9.

Типы соединений, получившие наибольшее распространение в резервуарах, следующие:

I тип. Соединение встык (фиг. 310). В зависимости от толщины свариваемых встык листов последние свариваются или без обработки кромок, а именно — листы толщиной 4—5 мм включительно, или с обработкой кромок при толщинах свыше 5 мм. При толщинах железа до 16 мм включительно швы V-образные. При больших толщинах металла швы X-образные.

Коэффициент полезного действия этих швов при основном материале СтЗ_{полн}, Ст2_{полн} и при допускаемых напряжениях согласно Единым нормам (см. гл. 3, § 10) по предыдущему определению будет

$$\varphi_1 = \frac{P_{шв}}{P_{лист}} = \frac{8 \cdot 900}{8 \cdot 1200} = 0,75.$$

Последнее отношение показывает, что при принятых нормах допускаемых напряжений в сварном металле к. п. д. швов I типа невелик, и поэтому применение швов этого типа целесообразно только в верхних недонапряженных поясах резервуара и в ненапряженных элементах (днище, крыша).

II тип. Соединение внахлестку (фиг. 311). Величина нахлестки b равна приблизительно $2\delta + 25$ мм или 5δ ,

За расчетную высоту шва принимается 0,7 δ .

Эти швы применяются для вертикальных швов поясов при толщине листов поясов до 13 мм.

Коэффициент полезного действия шва II типа по предыдущему равен:

$$\varphi_{II} = \frac{2 \cdot 0,7\delta}{\delta} \cdot 0,75 = 1,05,$$

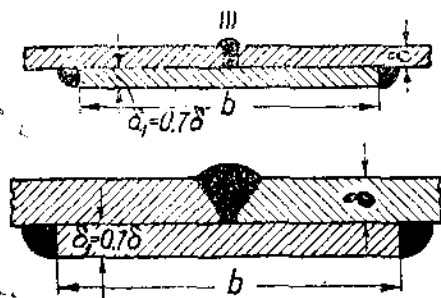
т. е. шов теоретически прочнее основного металла¹.

Швы эти имеют преимущество перед всеми прочими, так как, обладая высоким к. п. д., они не требуют дорогой работы по обработке листов и позволяют производить сборку и сварку резервуаров с минимальными затратами средств и времени.

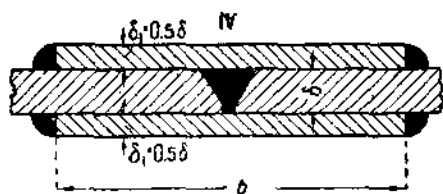
В американской практике сварки резервуаров швы эти пользуются большим распространением и построенные сварные резервуары различной емкости (до 12 700 м³) имели вертикальные швы внахлестку при толщине металла до 1/2" включительно².

III тип. Соединение встык с одной наружной накладкой (фиг. 312). Толщина накладки $\delta_1 = 0,7\delta$.

За расчетную высоту шва принимаются: в листе толщина его δ , в накладке — 0,7 $\delta_1 = 0,49\delta$.



Фиг. 312



Фиг. 313

Эти швы применяются для вертикальных швов поясов при различных толщинах листов поясов.

Коэффициент полезного действия шва III типа по предыдущему равен

$$\varphi_{III} = \frac{\delta(1 + 0,49)}{\delta} \cdot 0,75 = 1,12.$$

Следовательно, шов этого типа по прочности выше основного металла.

IV тип. Соединение встык с двумя накладками — наружной и внутренней (фиг. 313). Толщина накладок $\delta_1 = 0,5\delta$.

За расчетную высоту шва принимаются: в листе толщина его δ и в накладке — 0,7 $\delta_1 = 0,35\delta$.

Эти швы применяются для вертикальных швов поясов при толщине листов последних свыше 13 мм.

Коэффициент полезного действия шва IV типа по предыдущему равен

$$\varphi_{IV} = \frac{\delta(1 + 2 \cdot 0,35)}{\delta} \cdot 0,75 = 1,27.$$

¹ Не учитывая при этом влияния, внецентренности, так же как и в последующем соединении с одной накладкой.

² См. ст. в журнале «Welding», vol. 2, № 11, 1931.

Следовательно, шов этого типа может передавать большие усилия, нежели расчетное усилие, передающееся по основному металлу.

Швы эти дороже предыдущих и применяются они в случаях предъявления повышенных требований к соединению.

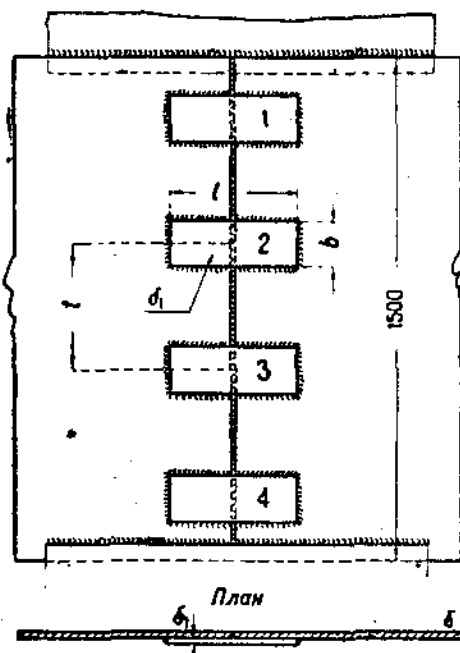
У тип. Соединение с накладками Нöhn (фиг. 314). Поперечные кусковые накладки представляют преимущество перед сплошными накладками в том отношении, что основной сварной шов листов при этом открыт и доступен для наблюдения.

Выполнение этого соединения производится следующим порядком. Сначала сваривается весь стыковой шов листов заподлицо, затем привариваются все необходимые накладки

и только после этого провариваются дополнительно те места стыкового шва, которые находятся между накладками, чтобы дать основному шву необходимое усиление.

При таком порядке выполнения соединения отпадает необходимость в обрубке ранее сваренного шва непосредственно под накладками; также рекомендуется в целях уменьшения опасности тепловых напряжений не сваривать накладки одна за другой, а чередовать их, сварив сперва все нечетные накладки и переходя после этого к сварке четных в последовательном порядке.

Накладкам и расстоянию между ними всегда могут быть приданы такие размеры, которые вполне обеспечивали бы равнопрочность сварного соединения основному листу.



Фиг. 314

В этом случае к. п. д. соединения φ_v будет равен 1.

Форма накладок прямоугольная, причем рекомендуется делать у накладок закругленные края. Если ширина накладок b , то длине накладок l придают обычно размеры: $l = (2-2,5)b$.

Толщина накладок

$$\delta_1 = 0,8\delta,$$

где δ — толщина соединяемых листов.

При очень толстом железе (свыше 18 мм) $\delta_1 = 0,7\delta$.

Минимальная толщина накладок $\delta_1 = 6$ мм.

Накладки могут быть и двухсторонние, когда к соединению предъявляются особо высокие требования.

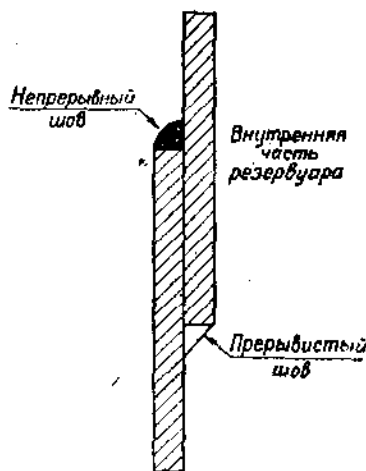
При накладках с двух сторон (внешней и внутренней) накладкам рекомендуется придавать разные размеры (во избежание пережога металла при толстых накладках); при этом безразлично, какие накладки — внешние или

внутренние — должны иметь большие размеры. Разница в размерах обычно принимается равной двухкратной толщине накладки.

Швы с поперечными накладками применяются в резервуарах в тех же случаях, что и швы со сплошными накладками.

В ненапряженных и малонапряженных элементах, кроме указанных выше швов встык (без накладок), применяются швы внахлестку с нормальным непрерывным швом, с одной стороны, и прерывистым швом с другой. Все кольцевые полные швы стенок вертикальных резервуаров выполняются внахлестку с непрерывным проваром с внешней стороны резервуара и прерывистым проваром с внутренней стороны (фиг. 315).

Аналогичные швы применяются также для соединения листов днища и крыши. В нижеследующей таблице показаны величины провара и перерывов прерывистых швов для различных размеров шва.



Фиг. 315

Суммарная толщина свариваемых листов в мм	Размер шва в мм	Длина провара в мм	Длина перерыва в мм
5 — 6	2,5 — 3	45	135—225
8 — 10	4 — 5	60	180—300
11 — 12	5 — 6	80	240—400
14 — 16	7 — 8	90	270—450
18 — 20	9 — 10	100	300—500

§ 2. Расчет сварного резервуара

Расчет толщины стенок вертикального сварного цилиндрического резервуара производится по той же формуле, что и аналогичного клепаного, а именно

$$\delta = \frac{P}{K \cdot \varphi},$$

где $P = H R \gamma$ и K имеют те же значения, что в вертикальных клепаных цилиндрических резервуарах (гл. 4, § 3) и φ — коэффициент полезного действия сварного шва.

При $\varphi > 1$ (швы типа II, III и IV) в расчет вводится, само собой разумеется, $\varphi = 1$.

Напряжение в швах рассчитывается по методам, изложенным в гл. 3, § 9.

При условном расчете нефтяных резервуаров на воду допускаемые напряжения основного металла и швов увеличиваются в отношении 1:0,9 = 1,12, где 0,9 — удельный вес тяжелых нефтепродуктов.

Для простоты и ускорения расчета толщины швов и стенок вертикальных резервуаров для нефтепродуктов ниже приводится таблица для швов

типа I, II, III и IV, указывающая усилия, могущие быть воспринятыми основным металлом при толщинах его от 4 до 16 мм включительно.

Таким образом, имея определенной HR_{γ} — величину разрывающего усилия пояса на 1 пог. см высоты его, по следующей таблице сразу находим необходимую толщину железа пояса и необходимый тип сварного шва, соответствующие определенной величине HR_{γ} .

Таблица
сварных вертикальных швов резервуаров для нефтепродуктов

Толщина листа δ в мм	Тип шва	Усилие, воспринимаемое листом $P_{\text{л}}$ кг на 1 пог. см	Усилие, воспринимаемое швом $P_{\text{ш}}$ кг на 1 пог. см	Величина нахлестки b в мм	Размеры нахлесток	
					толщина δ_1 в мм	ширина b в мм
4 {	I	540	400	—	—	—
	II	540	560	35	—	—
	III	540	680	—	4	70
5 {	I	675	500	—	—	—
	II	675	700	35	—	—
	III	675	780	—	4	70
6 {	I	810	600	—	—	—
	II	810	840	40	—	—
	III	810	950	—	5	80
7 {	I	945	700	—	—	—
	II	945	930	40	—	—
	III	945	1050	—	5	80
8 {	I	1080	800	—	—	—
	II	1080	1120	40	—	—
	III	1080	1220	—	6	80
9 {	I	1215	900	—	—	—
	II	1215	1260	45	—	—
	III	1215	1390	—	7	90
10 {	I	1350	1000	—	—	—
	II	1350	1400	45	—	—
	III	1350	1490	—	7	90
11 {	I	1485	1100	—	—	—
	II	1485	1540	50	—	—
	III	1485	1660	—	8	100
12 {	I	1620	1200	—	—	—
	II	1620	1680	55	—	—
	III	1620	1830	—	9	110
13 {	I	1755	1300	—	—	—
	II	1755	1820	60	—	—
	III	1755	1930	—	9	120
14 {	I	1890	1400	—	—	—
	II	1890	2100	—	7	120
	III	1890	2380	—	10	130
15 {	I	2025	1500	—	—	—
	II	2025	2270	—	7	120
	III	2025	2620	—	11	140
16 {	I	2160	1600	—	—	—
	II	2160	2370	—	8	140
	III	2160	2720	—	11	140

Примечание. Допускаемые напряжения при составлении таблицы приняты:
 для основного металла листа $1200:0,9 = 1350 \text{ кг/см}^2$
 » сварного шва $900:0,9 = 1000$ »

Той же таблицей можно пользоваться и для расчета толщины стенок и их швов для водяных резервуаров. Для этого необходимо только подбирать толщину стенки и швы не по определенной расчетом резервуара величине $HR\gamma$, а по увеличенной в отношении $\frac{1}{0,9}$, т. е. по

$$\frac{HR\gamma}{0,9},$$

где $\gamma = 0,001 \text{ кг/см}^3$.

Аналогичная таблица приводится и для швов с поперечными (кусковыми) накладками Нбhn (тип V), в которой указаны как размеры накладок, так и число их по высоте одного пояса при различных толщинах листов пояса и ширине листов в 1500 мм.

Таблица

сварных вертикальных швов резервуаров для нефтепродуктов, усиленных односторонними накладками Нбhn (тип V)

Толщина листа δ в мм	Расстояние между центрами накладок t в мм	Ширина накладки b в мм	Длина накладки l в мм	Толщина накладки δ_1 в мм	Число накладок по высоте пояса при ширине листа в 1500 мм	Усилие, воспринимаемое поясом на промежутке t , в кг
6	375	120	240	6	4	30 375
7	»	120	240	6	»	35 437
8	»	120	240	7	»	40 500
8	»	120	240	8	»	45 562
10	»	120	240	8	»	50 625
11	»	120	240	9	»	55 687
12	»	120	240	10	»	60 750
13	»	120	240	11	»	65 812
14	»	120	240	11	»	70 875
15	»	120	240	12	»	75 937
16	»	120	240	13	»	81 000

Примечание. При составлении таблицы допускаемые напряжения для основного металла и сварного шва приняты те же, что и в предыдущей таблице. Допускаемые же напряжения как для фланговых, так и для добовых швов накладки приняты одинаковыми, равными $720 : 0,9 = 800 \text{ кг/см}^2$.

Ниже приводится пример расчет резервуара емкостью 4600 м^3 , изображенного на фиг. 321 и 322.

Как и в клепаных резервуарах, напряжения в стенках резервуара рассчитываются в условном предположении наполнения их доверху водой, при этом напряжение каждого пояса стенки рассчитывается на уровне, расположенном на 300 мм выше нижнего горизонтального шва рассматриваемого пояса. Расчет приведен в таблице на стр. 320.

Из таблицы расчета видно, что в начале следует определить переходные коэффициенты

$$\eta_d = \frac{HR\gamma}{P_d} \text{ и } \eta_w = \frac{HR\gamma}{P_w},$$

№ пояса	Теоретическая высота пояса в мм	Расчетная высота пояса H_0 в мм	$H \cdot R$ в кг/м.см.	Характеристика шва согласно стандартной таблице			Значения переходных коэффициентов		Значения напряжений в кг/см ²		
				Тип шва	Толщина листов в мм	P_s в кг/см	P_m в кг/см	$\eta_s = \frac{HR_s}{P_s}$	$\eta_m = \frac{HR_m}{P_m}$	$K_s = \eta_s \cdot 1350$	$K_m = \eta_m \cdot 1000$
VIII	1377	1107 ¹	126	Внахлестку	4	540	560	0,233	0,225	315	225
VII	1360	3467	280	То же	4	540	560	0,518	0,500	699	500
VI	1360	2827	435	»	4	540	560	0,805	0,776	1087	776
V	1457,5	5284,5	600	»	5	675	700	0,858	0,857	1199	857
IV	1455	6739,5	765	»	6	810	840	0,944	0,910	1275	910
III	1452,5	8192	930	»	7	945	980	0,954	0,948	1328	948
II	1450	9641	1095	»	8	1080	1120	1,015	0,978	1370	978
I	1472,5	11173,5 ²	1269	»	10	1350	1400	0,940	0,906	1269	906

где HR_s — расчетное растягивающее усилие данного пояса, P_s и P_m — табличные значения усилий, воспринимаемых листом и швом для выбранного типа соединения.

Действительные напряжения K_s и K_m определяются путем умножения коэффициентов η_s и η_m на допускаемые напряжения оси основного металла и сварного шва (1350 кг/см² и 1000 кг/см²).

§ 3. Конструкция сварных резервуаров

На фиг. 316 и 317 приведена конструкция сварного резервуара небольшой емкости — 645 м³.

Как видно из чертежей, днище резервуара состоит из двух основных частей, а именно: средней части, образующейся из полос, представляющих собой ряд листов, сваренных встык по короткой кромке толщиной 4 мм, соединяемых между собой швами внахлестку, и крайней окаймляющей части, состоящей из сегментных листов той же толщины, что и листы средней части, соединяемых между собой сваркой встык.

Соединение средней части днища с окаймляющей ее сегментной частью производится швами внахлестку и встык в последовательном порядке, как изображено на чертеже; но стыковые швы могут быть выполнены при указанной конструкции днища также и простым перекрытием их сверху полосовой накладкой, обвариваемой нижней сваркой по периметру; в таком случае отпадает надобность в точной пригонке стыкуемых элементов.

Соприжение стенок резервуара с днищем выполнено помощью нижнего кольцевого угольника, устанавливаемого с внутренней стороны резервуара по гладкой поверхности сегментов.

Таким образом нижний угольник на всем своем протяжении плотно прилегает к сегментам, образуя вместе с сегментами основное кольцо, по которому собирается нижний пояс резервуара.

Листы, составляющие пояс резервуара, свариваются между собою встык,

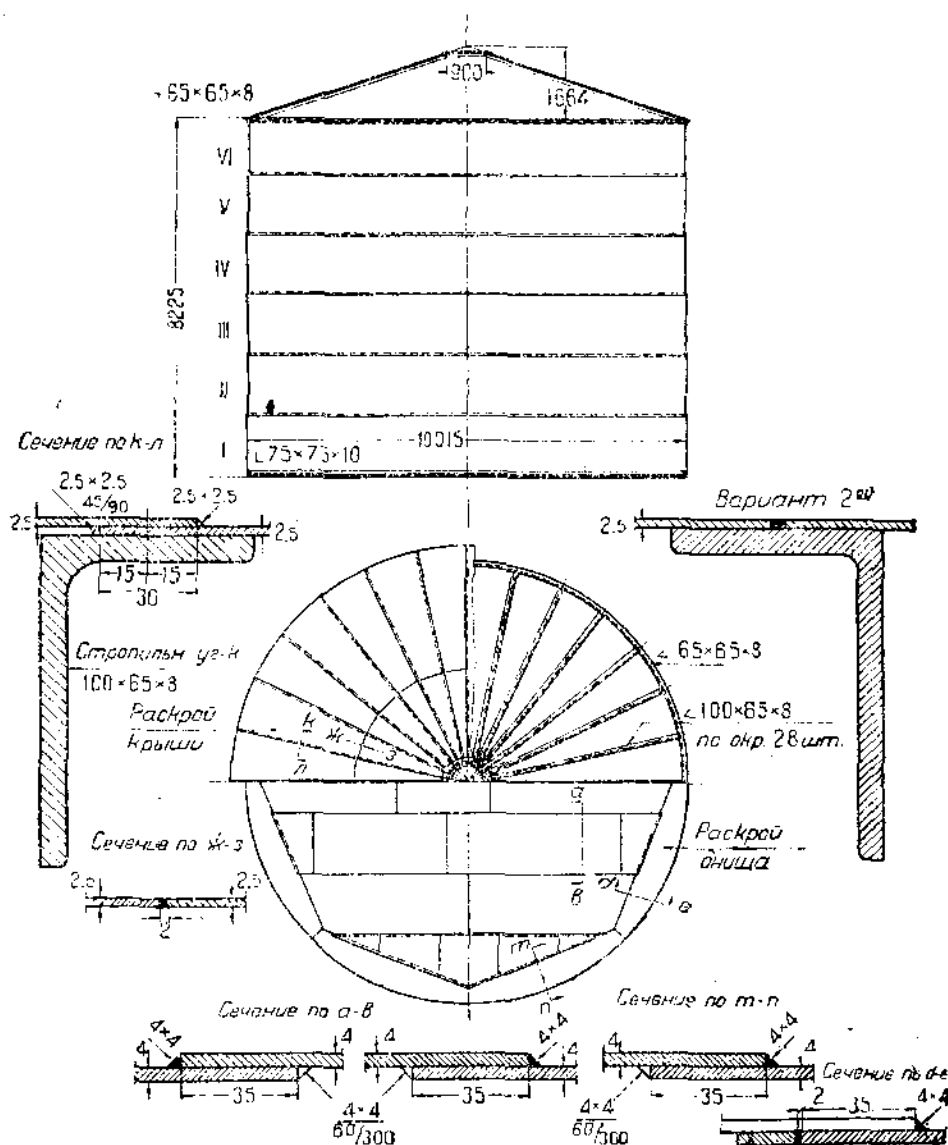
¹ 1377 + 30 — 300 = 1107.

² 9641 + 1472,5 + 30 = 11 173,5.

с двух сторон, причем вертикальные швы нижнего пояса усилены стыковой накладкой. Так как стенки указанного резервуара не испытывают при данной толщине металла их в 4 мм полного напряжения материала и напряжение в них ниже допускаемого, то стыковой шов, применяемый для вертикальных швов поясов, вполне соответствует приведенным условиям.

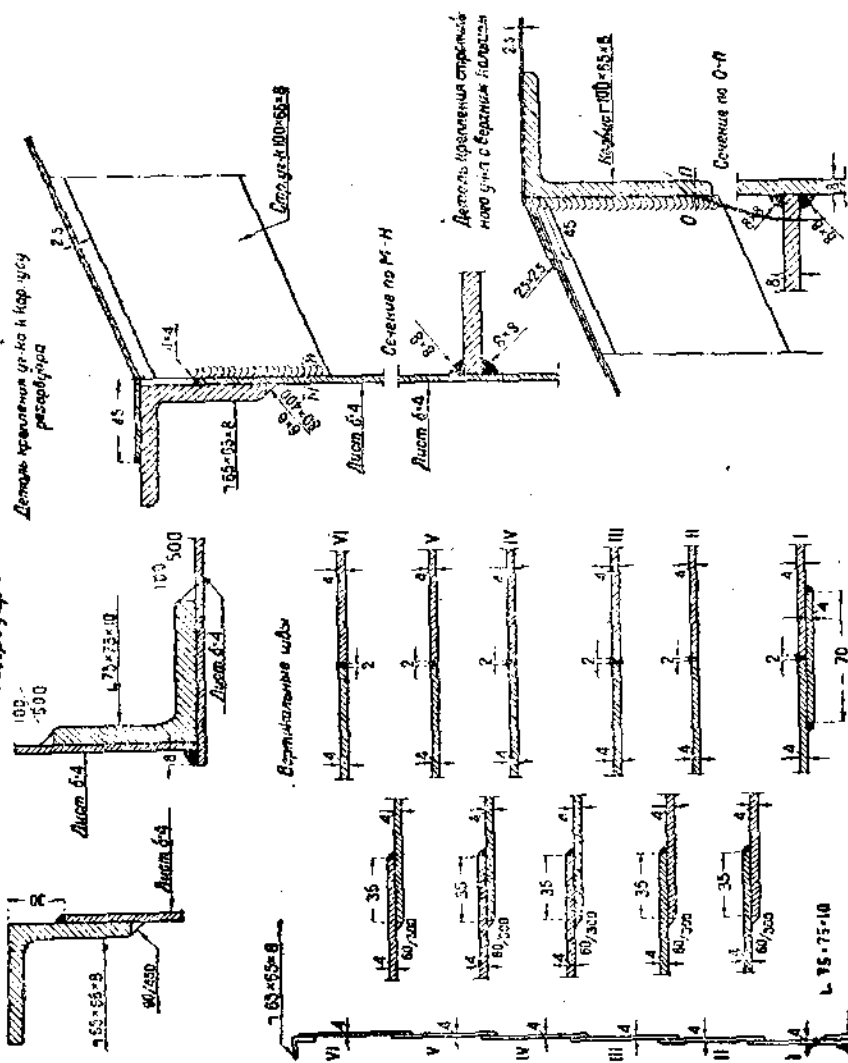
Соединение поясов между собою производится помощью горизонтальных швов внахлестку, причем пояса резервуара располагаются телеско-

Резервуар емк. 845 м³



Фиг. 316

පෞරුෂයා 645-3

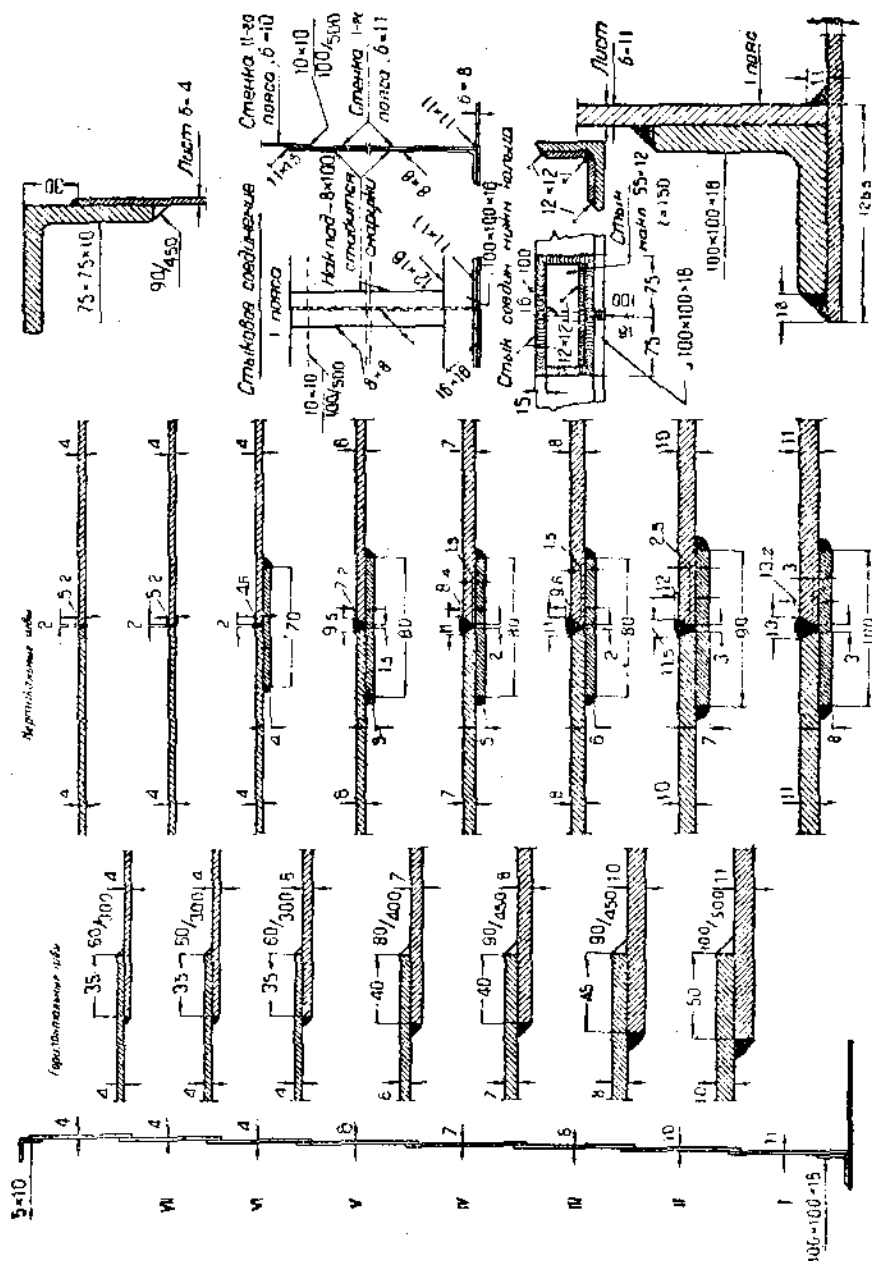


Фил., 317

Герметическая крышка резервуара представляет собой многогранную пирамиду, образуемую из листов толщиной 2,5 мм, усиленных снизу ребрами из угольников.

Ребра из угольников у основания крыши привариваются к листам верхнего пояса резервуара у верхнего угольника, а в вершине крыши — к центральному кольцу.

Резервуар емкостью 8370 м³



Фиг. 319

На собранные и приваренные к корпусу резервуара угловые ребра настилаются листовые грани крыши и привариваются к ребрам по верхней полке их непрерывным швом (см. вариант 2-й), образуя, таким образом, вместе с ребрами сплошную металлическую оболочку.

Соединение листов крыши с угольником может быть выполнено также и по 1-му варианту чертежа, но сварных швов в этом случае больше.

На фиг. 318—320 приведена конструкция сварного резервуара емкостью 6370 м³.

Днище резервуара, так же как и в предыдущем резервуаре, состоит из двух основных частей — средней и сегментной. Толщина листов средней части — 6 мм, сегментов — 8 мм. Соприжение сегментов со средней частью аналогично предыдущему. Нижний угольник днища в приведенной конструкции обращен в наружную сторону резервуара, — конструкция, применяемая в резервуарах большого диаметра и емкости.

Вертикальные швы поясов стенок в описываемой конструкции — все встык, с добавлением односторонней накладки в тех поясах, где это необходимо¹. Расположение поясов телескопическое. Размеры и толщины накладок, также и самих поясов, а равным образом и все конструктивные особенности резервуара, видны непосредственно из чертежей.

Верхний и нижний пояса ферм крыши имеют трубчатое сечение из уголков. Такое же сечение имеют стойки и средний раскос. Остальные же раскосы состоят из уголков, окаймляющих грани поясов. Центральный узел ферм представляет собой сверху сварной барабан, а снизу центральный диск, к которым примыкает соответственно верхний и нижний пояса полуферм; таким образом отдельно сваренные полуфермы, будучи установлены одним концом на опору на стенке резервуара, в средней части привариваются к барабану и диску, образуя нераздельное покрытие.

Конструкция отдельных узлов ферм видна из чертежей. Все соединения в стропильных фермах сварные; исключения представляют только связи, которые для удобства монтажа поставлены на болтах.

Крыша резервуара представляет собой сплошную герметическую оболочку, сваренную из листов толщиной 3 мм и приваренную к нижнему угольнику резервуара.

К стропильным фермам крыша не приваривается и лежит свободно на них и поддерживаемых ими прогонах — поперечных железных и радиальных деревянных.

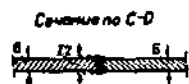
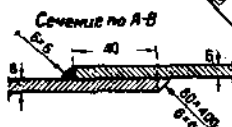
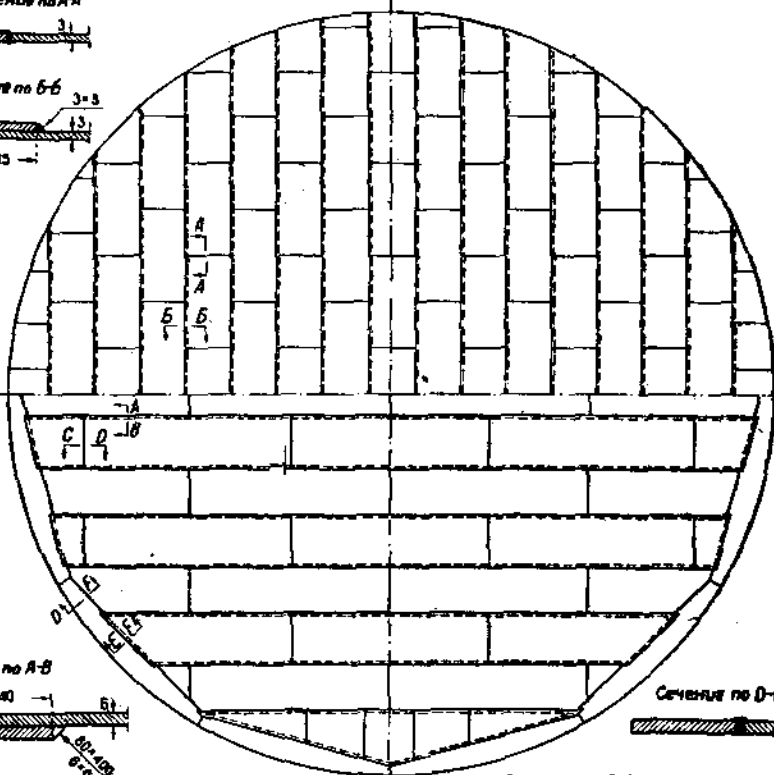
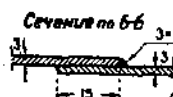
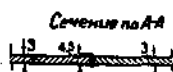
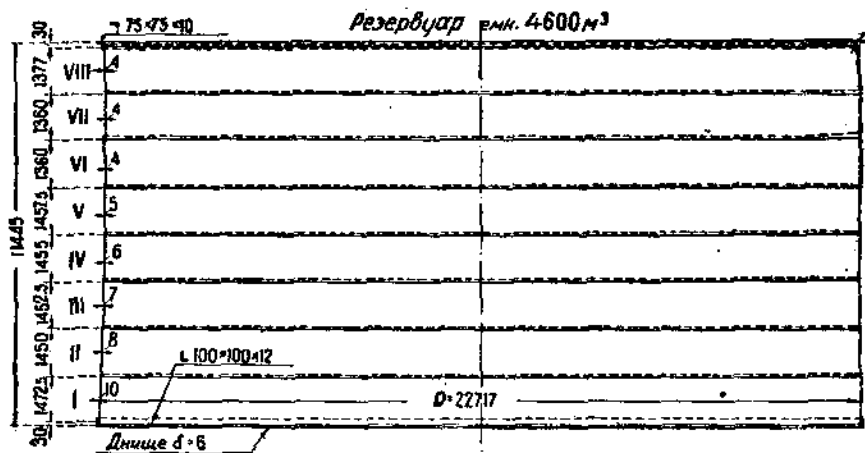
На фиг. 321 и 322 дана конструкция сварного резервуара в 4600 м³, отличающаяся от предыдущего конструкцией вертикальных швов стенок.

Все вертикальные швы этого резервуара сконструированы внахлестку.

Как уже говорилось ранее, швы внахлестку отличаются тем преимуществом, что не требуют обработки кромок листов и последующей точной пригонки для сварки, вследствие чего работа по сооружению резервуара значительно удешевляется.

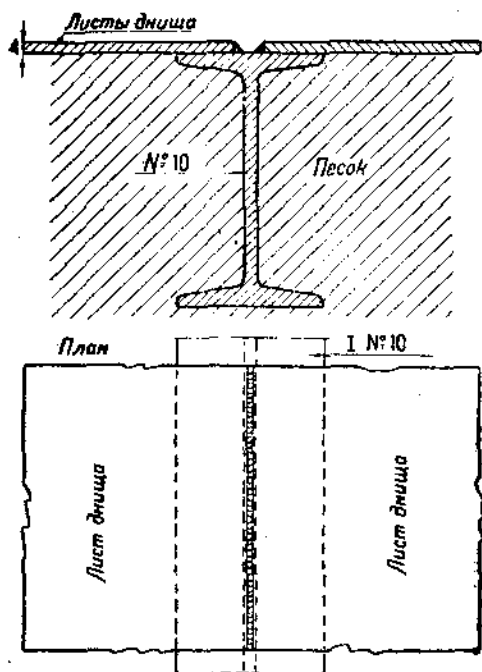
Другой отличительной особенностью приводимой конструкции является конструкция сопряжения нижнего пояса резервуара с угольником днища. Вертикальная полка нижнего угольника располагается снаружи листов пояса; по самому же угольнику с внутренней стороны резервуара привариваются угольники-коротыши размерами 100 мм, примерно через 400 мм.

¹ Проварка вертикальных швов поясов должна производиться особо тщательно и обязательно на всю толщину листов. При обнаружении неполного провара обязательно должна быть произведена подварка с обратной стороны до постановки накладок.

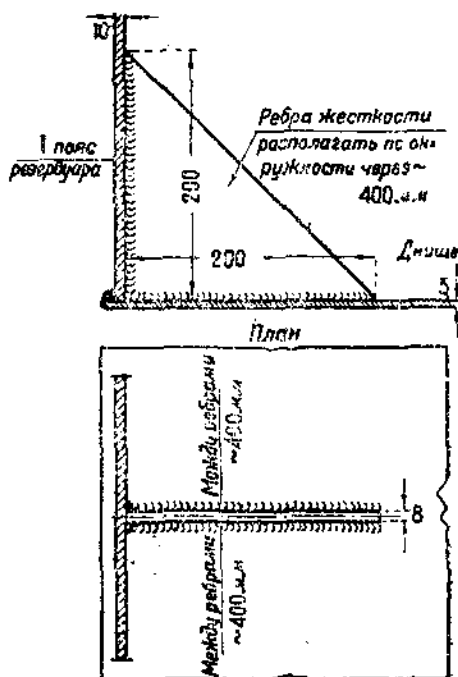


Фиг. 321

Таким образом листы нижнего пояса устанавливаются между вертикальными полками угольника дна и коротышами. Такая конструкция удобна

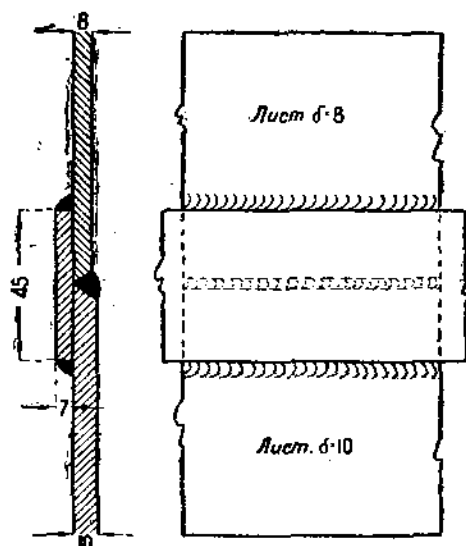


Фиг. 323



Фиг. 324

в том отношении, что позволяет применять листы нижнего пояса без обработки их нижней кромки.



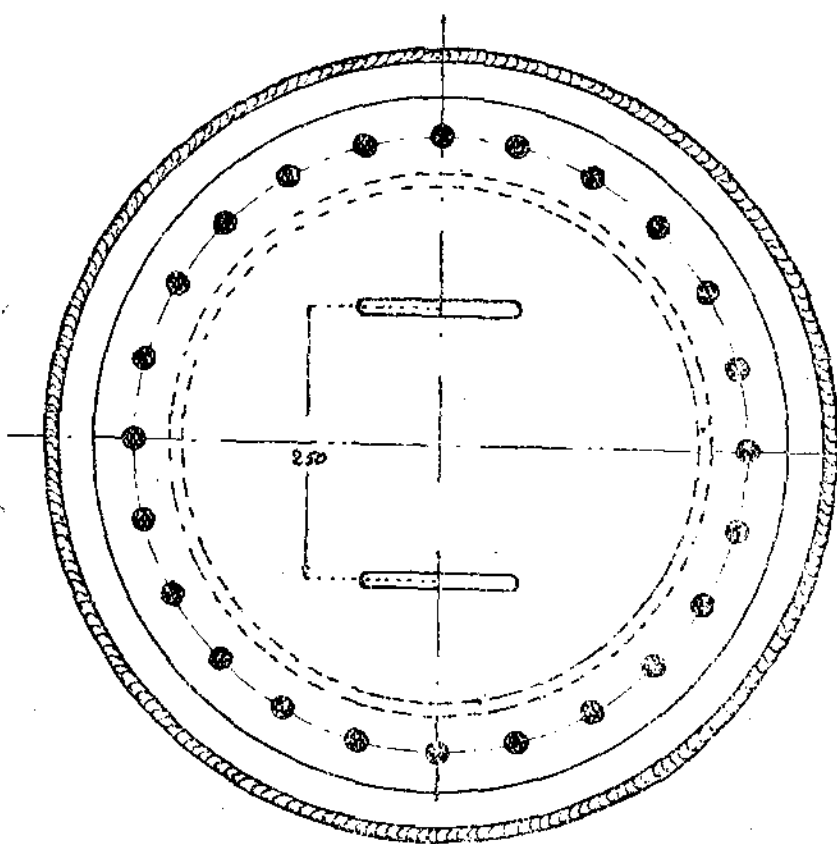
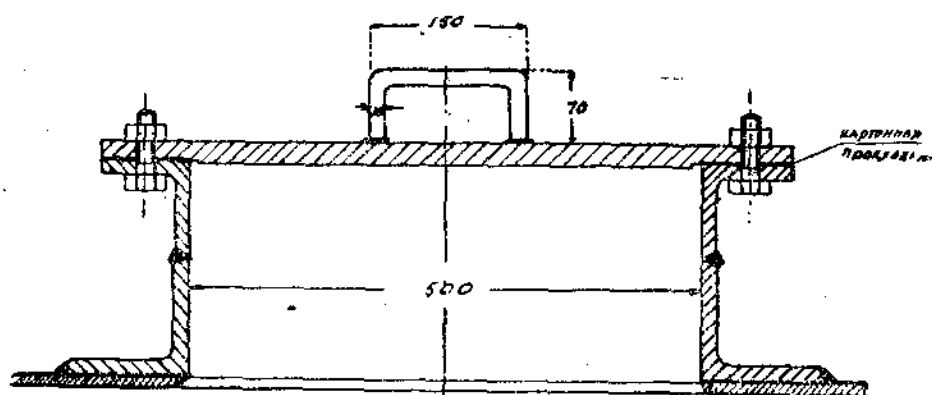
Фиг. 325

Процент экономии металла, получаемой в сварных резервуарах большой емкости против клепаных, при применении в последних пивов с высоким к. п. д. (пивов с неравными накладками) составляет 8—10.

Кроме приведенных выше типов соединений элементов в сварных резервуарах, на нижеследующих чертежах представлены другие варианты этих соединений.

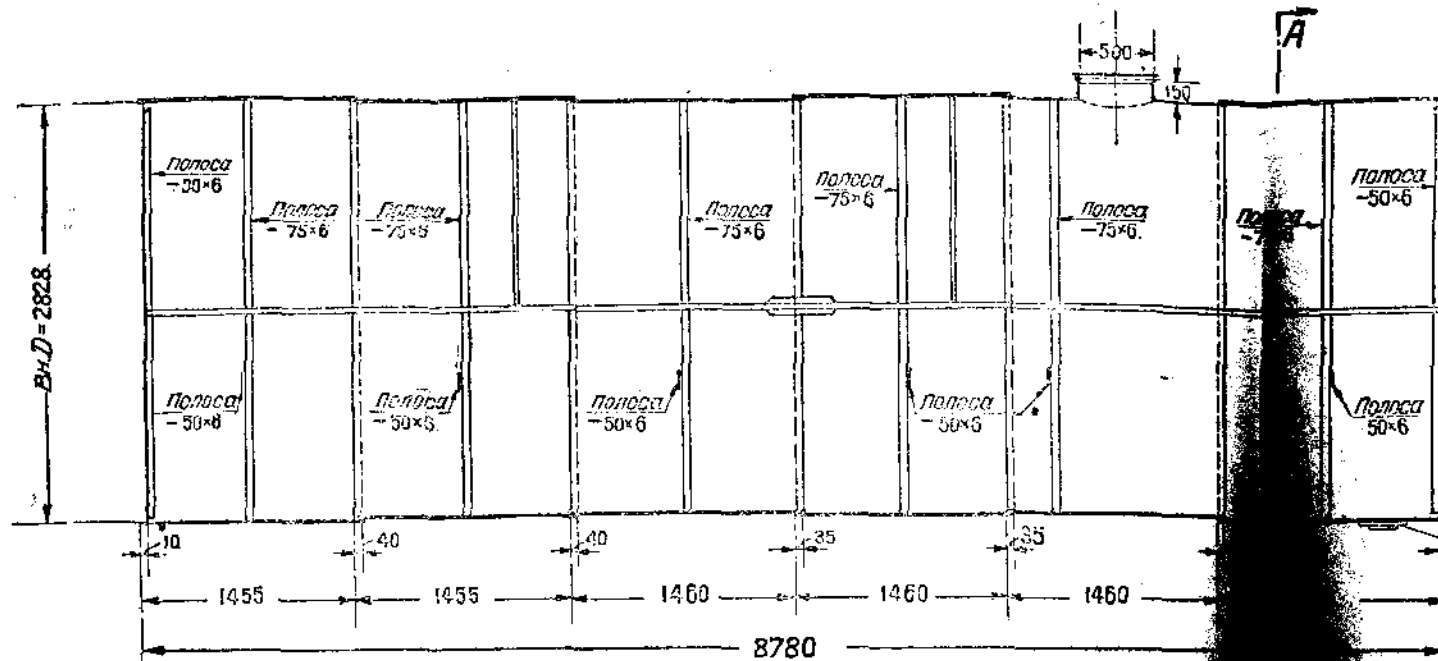
Так, на фиг. 323 дано соединение листов дна по продольным кромкам их помощью двутавровых балок № 10, укладываемых в углубления, сделанные в основании.

Листы дна привариваются к балкам, причем балки остаются после сварки в основании. Такая

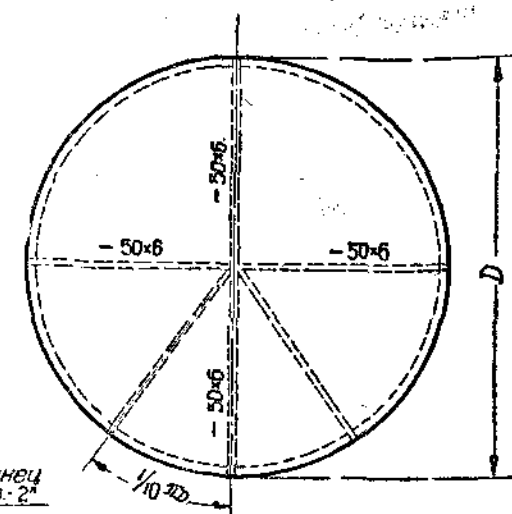


Фиг. 326

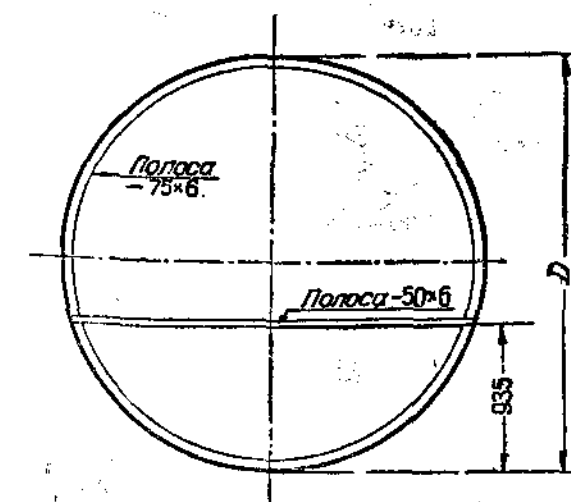
Горизонтальный резервуар емкостью 55 м³



Наружный вид днаща

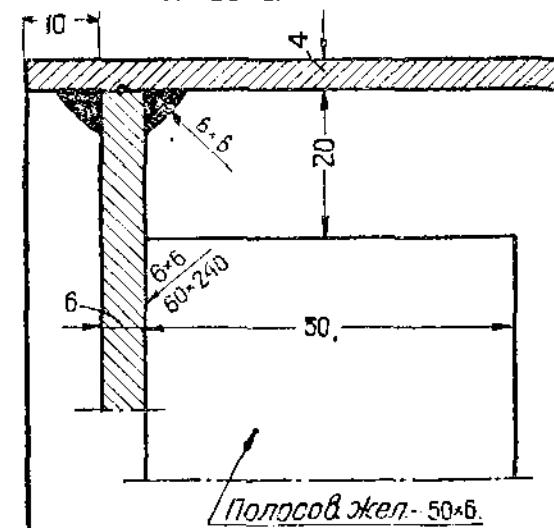


Разрез по А-В'

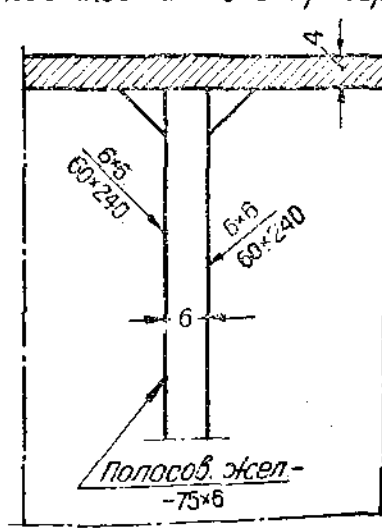


Прикрепление полос жесткости к стержню

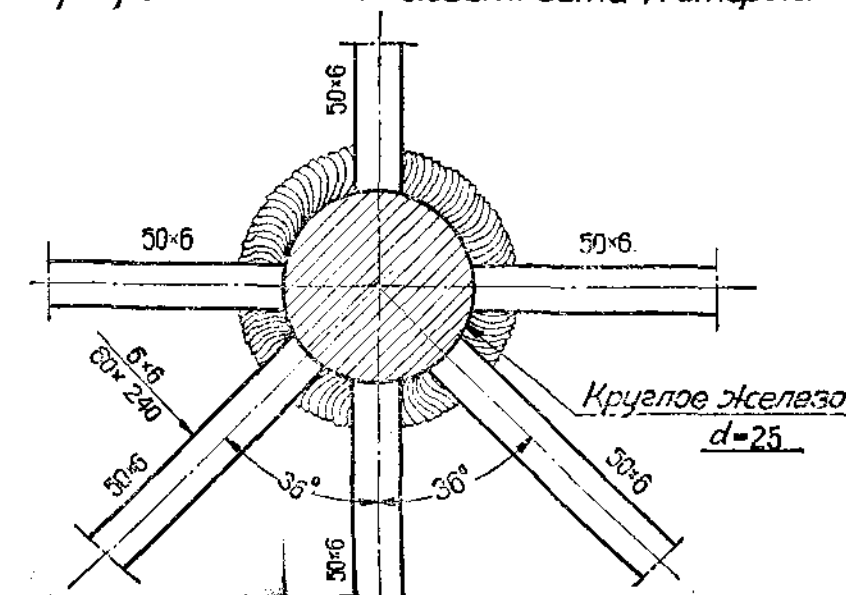
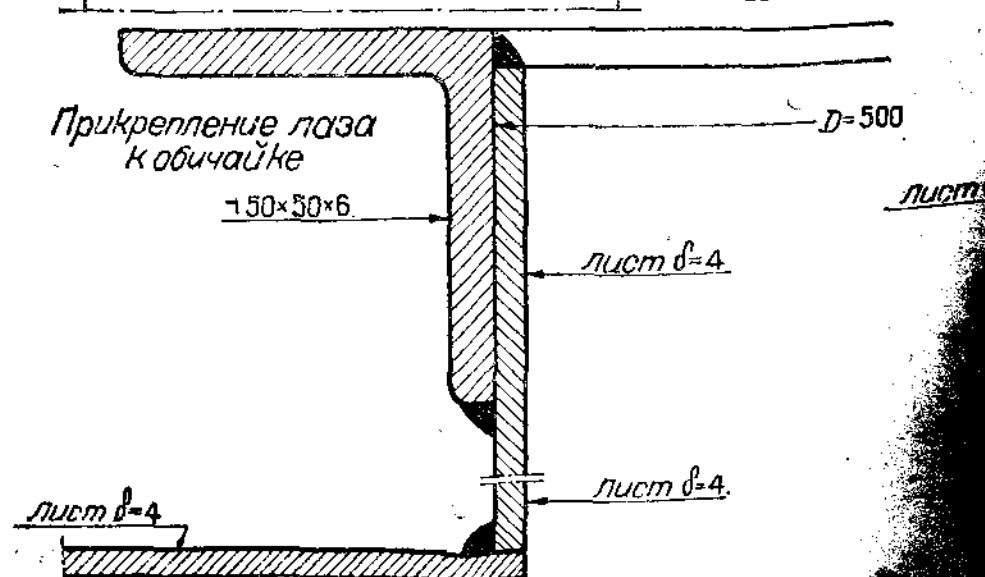
Деталь прикрепления днища
к бокам



Деталь крепления полосы жесткости к бокам резервуара



Прикрепление лаза к обичайке



конструкция позволяет производить сварку листов днища непосредственно на основании. Недостатком этого способа является потеря большого количества металла в виде балок, остающихся в основании.

На фиг. 324 показана конструкция соединения стенок резервуара с днищем без кольцевого угольника помощью угловых фасонек, поставленных на ребро через 300—500 мм друг от друга и привариваемых к листам нижнего пояса резервуара и к днищу.

Наконец, на фиг. 325 показано соединение поясов резервуара между собой встык с односторонней накладкой.

Листы вышележащего пояса устанавливаются своими торцами на листы нижележащего пояса и свариваются встык с внутренней стороны резервуара. На наружной стороне резервуара листы поясов привариваются к кольцам — балкам из полосового железа, окаймляющим резервуар по горизонтальным швам поясов. Соединение это — дорогое, и применение его должно быть оправдано соответствующими соображениями.

На фиг. 326 приведен пример конструкции сварного лаза резервуара.

Ниже приводится таблица размеров сечений элементов сварного лаза при различных толщинах листов нижнего пояса.

Тип лаза	Толщина листов нижнего пояса в мм	Сечения уголков		Толщина крышки в мм	Болты	
		верхние	нижние		d в мм	Число болтов
I	До 5	75 × 75 × 12	80 × 80 × 10	12	17	18
II	6—9	75 × 75 × 12	90 × 90 × 10	14	17	24
III	10—12	90 × 90 × 12	120 × 120 × 14	20	20	24
IV	13—16	90 × 90 × 14	120 × 120 × 16	20	20	24

§ 4. Порядок сварки вертикального резервуара

Ранее указывалось на важное значение при проектировании сварных резервуаров одновременной проработки основных положений метода сборки и порядка сварки их.

Основным элементом резервуара, с которого начинается его возведение, является днище, состоящее из пласти и окаймляющих его сегментов и угольника.

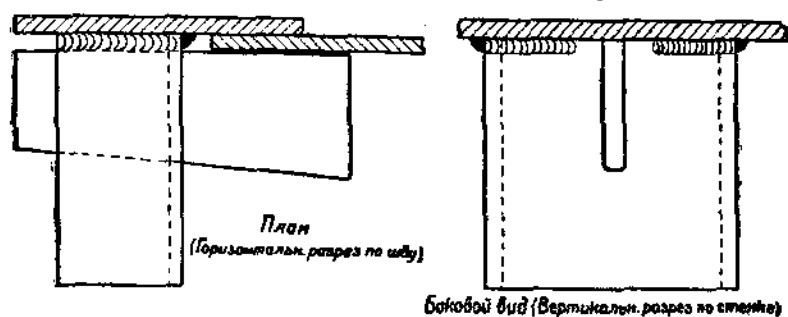
Днищу резервуара придана такая конструкция с целью иметь по периметру сегментной части температурный шов, позволяющий сваривать в отдельности как среднюю часть днища, так и крайнюю окаймляющую ее часть и поглощающий деформации, вызываемые усадкой швов.

Необходимость этого шва, в особенности в резервуарах большого диаметра, подтверждается также американской практикой, которая показала, что если днище сваривалось сразу как одно целое, то после приварки угольника днища, вследствие усадки швов днища, последнее местами выпучивалось и теряло свою правильную форму.

Кроме того указанная конструкция днища дает очень удобное в сборке соединение краев днища со средней частью, обеспечивая в то же время правильность и прочность сопряжения нижнего угольника с днищем и стенками.

Другим важным моментом в сварке резервуаров является способ сборки листов поясов стенок резервуара. Приспособление, удерживающее собран-

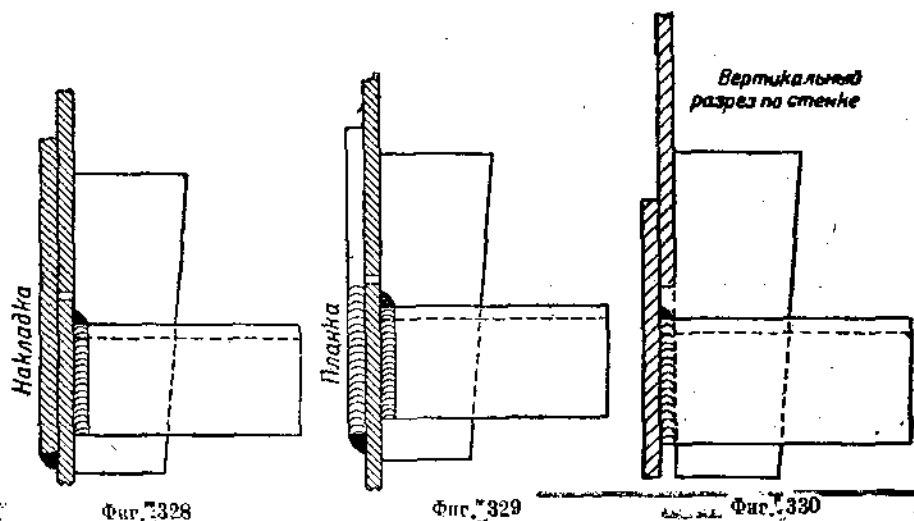
ные листы между собой, должно быть так сконструировано, чтобы оно, скрепляя в полной степени листы, позволяло листам несколько перемещаться при усадке сваренных вертикальных швов каждого пояса, которые свариваются ранее кольцевых поясных швов данного пояса. Таким приспособлением могут быть коротыши из швеллеров (или уголков) с



Фиг. 327

прорезями, временно привариваемые к листам поясов, и клинья, входящие в эти прорезы, как это показано на нижеприводимых эскизах (фиг. 327, 328, 329).

На фиг. 327 показано приспособление для сборки вертикальных швов внизлестью.



Фиг. 328

Фиг. 329

Фиг. 330

На фиг. 328 и 329 показано приспособление для сборки швов встык с односторонней накладкой и без накладок.

В последнем случае, как видно из эскиза, для сборки привариваются специальные планки.

На фиг. 330 показано приспособление для сборки кольцевых швов внизлестью.

Указанные коротыши из швеллеров ставятся на расстоянии 300 мм друг от друга, и вся конструкция резервуара собирается, таким образом,

без болтов; сборочные коротыши после сварки пояса отбиваются и пере-
носятся для использования в следующие пояса.

Таким образом весь процесс сварки резервуара представляется в ос-
новном в следующем виде: сначала собирается и сваривается на клетках
средняя часть днища; затем собирается и сваривается на блетках же
кольцевая часть днища, состоящая из сегментов. К кольцевой части при-
хватывается нижний угольник днища. По угольнику днища собирается
I нижний пояс резервуара помощью указанного приспособления.

Затем провариваются все вертикальные швы пояса и кольцевые швы
по нижнему угольнику, а также оставленный в днище кольцевой шов между
сегментной и средней частью днища. Сваренное днище испытывается нали-
вом воды, и по исправлении обнаруженных дефектов в нем днище с I поясом
опускается на основание. После этого приступают к сборке следующего,
второго снизу, пояса, пользуясь вышеуказанными приспособлениями.

По сборке II пояса провариваются вертикальные швы этого пояса и
вслед за тем нижние кольцевые швы, соединяющие II пояс с I.

Дальнейшая сборка и сварка идет аналогичным порядком, т. е. соби-
рается III пояс, свариваются вертикальные швы этого пояса и вслед за
тем нижние кольцевые швы, соединяющие III пояс со II, собирается
IV пояс и т. д. вплоть до окончания резервуара.

Само собой разумеется, что в случае применения конструкции днища,
позволяющей собирать и сваривать его непосредственно на основании
(фиг. 323), устройство клеток отпадает, но порядок сварки остается тем же.

Указанный метод сборки и сварки резервуара позволяет вести сборку
без болтов и дает возможность устранить предное влияние усадки швов,
обеспечивая тем самым сооружению надлежащую правильность и форму.

В заключение приведем в качестве примера конструкцию сварного го-
ризонтального резервуара с плоскими днищами емкостью 55 м³ (фиг. 331).

Взаимное расположение обечаек этого резервуара обуславливается при-
нятым методом сборки их. Резервуар собирается двумя частями (в три и
две обечайки), причем обечайки каждой части собираются в вертикальном
положении последовательным порядком, начиная сборку со средних оби-
чаек и кончая крайними с днищами, пользуясь при этом деревянными
стойками с талыми.

Собранные в отдельности части резервуара устанавливаются на ро-
лики в горизонтальном положении и в таком виде замыкаются средней оби-
чайкой.

После этого производится сварка швов собранного резервуара, причем
оследний все время поворачивается на роликах.

Приложения

Приложение I

Специальные дополнительные ТУ и Н конструкций резервуаров и газгольдеров¹

Проектирование

§ 187. Расчет и конструирование резервуаров производится согласно основным ТУ и Н с нижеследующими дополнениями и изменениями.

§ 188. Газгольдеры и резервуары относятся ко II классу сооружений согласно классификации Единочных норм.

§ 189. Ветровая и снеговая нагрузки для резервуаров и газгольдеров принимаются согласно Единым нормам, причем обе они считаются основными нагрузками.

Кроме того газгольдеры должны проверяться на ветровую нагрузку в 250 кг/м^2 в качестве случайной нагрузки при втором пределе основных допускаемых напряжений. Типовые газгольдеры и резервуары проверяются на снеговую нагрузку интенсивностью:

для южной полосы	60 кг/м ²
» средней »	90 »
» северной »	120 »

§ 190. Швы стенов и днищ резервуаров и все швы газгольдеров, помимо условий прочности, должны удовлетворять также и требованиям плотности.

§ 191. Крыши резервуаров для нефтепродуктов (бензин, керосин, сырая нефть и пр.) должны обладать плотными швами.

§ 192. Газгольдеры и резервуары для хранения нефтепродуктов и растительных масел устраиваются с плоскими днищами на песчаном основании, передающим давление нагрузки; резервуары для неглубокого водоснабжения, помещаемые на водонапорных башнях, устраиваются с днищами плоскими или пространственными (сферическими или коническими) в зависимости от основания, на котором они покоятся.

§ 193. Разрешается крыши резервуаров под нефтепродукты, спирт и масляные продукты устраивать на деревянных или железных стропилах; тип крыши рекомендуется плоский с небольшим уклоном (1:20 радиуса), конический с уклоном 1:3 радиуса или сферический с подъемом до 1:15 диаметра.

В водонапорных башнях, при открытых баках, резервуары рекомендуется покрывать конической крышей с уклоном 1:3 радиуса или окружать деревянным шатром; при этом в закрытых башнях (каменных) покрытием является крыша самого водоемного сооружения. В газгольдерах высоту сферы колокола рекомендуется принимать равной 1:16 диаметра газгольдера.

§ 194. Наиболее выгодную высоту клепанных вертикальных цилиндрических резервуаров с плоскими днищами разрешается определять по методу акад. В. Г. Шухова.

§ 195. Напряжения в стенках резервуаров рассчитываются в условном предположении наполнения их доверху водой, при этом напряжение каждого пояса стенки рассчитывается на уровне, расположенном на 300 мм выше нижнего горизонтального шва рассматриваемого пояса.

Примечания. 1. При назначении резервуаров под жидкости с другим удельным весом γ , отличным от удельного веса воды, соответствующее изменение на-

¹ Извлечение из «Технических условий и норм проектирования и возведения металлических конструкций и сооружений», изд. 1931 г.

нагрузки учитывается при условном расчете на воду изменением допускаемых напряжений в отношении 1:γ.

2. Независимо от расчета минимальная толщина железа принимается для стенок резервуара 4 мм из-за условий возможности плотной чеканки кромок.

§ 196. Днища резервуаров диаметром до 25 м делаются толщиной 4—6 мм для достаточной надежности против ржавления и действия почвенных солей. Днища резервуаров диаметром больше 25 м делаются толщиной 6—8 мм (с окантовкой или без таковой).

§ 197. В вертикальных резервуарах с числом поясов до шести включительно, при разной толщине стенок все пояса располагаются телескопически (каждый пояс располагается внутри нижележащего пояса). В резервуарах с числом поясов больше шести расположение верхних шести поясов принимается телескопическое, следующих — ступенчатое. В вертикальных резервуарах с одинаковой толщиной стенок, а также в горизонтальных резервуарах и в резервуарах для газгольдеров расположение поясов — ступенчатое.

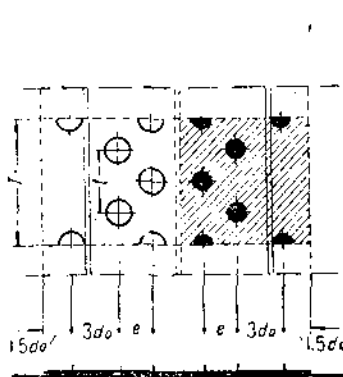
§ 198. Для стенок резервуаров рекомендуется применение цельных листов, без вставок.

§ 199. Герметические крыши резервуаров покрываются кровельным железом на деревянной обрешетке.

Герметические крыши делаются либо из железа 2—3-мм на льняной прокладке, пропитанной суриком, без чеканки кромок, либо из жести 4-мм с чеканкой кромок.

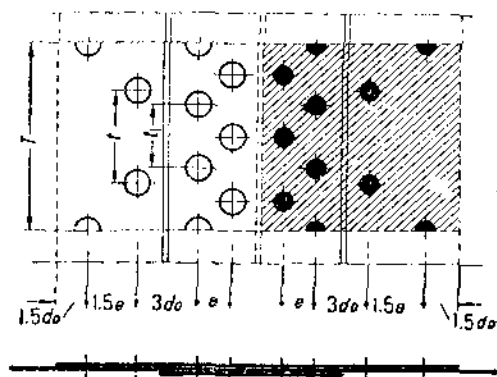
§ 200. Вертикальные швы клепанных резервуаров рекомендуются следующих типов:

- А) Швы внахлестку двух- и трехрядные (с обычным к. п. д. 0,60—0,75).
- Б) Швы впритык с повышенным к. п. д.
- 1) Двухрядные с равными накладками (к. п. д. около 0,80).
- 2) Трех- и четырехрядные швы с разными накладками с к. п. д. 0,85—0,90 (см. эскиз).
- 3) Швы с зигзагообразными накладками с к. п. д. 0,9—0,95 для резервуаров газгольдеров больших емкостей.



Трехрядный шов впритык
T — расчетная величина

$$e = 0,5t, t = \frac{T}{2}$$



Четырехрядный шов впритык
T — расчетная величина

$$e = 0,5t_1; t_1 = \frac{T}{3}; t = 1,5t_1 = \frac{T}{2}$$

§ 201. Тип кольцевых швов в вертикальных стенках резервуара, а также всех швов в днище и крыше рекомендуется однорядный внахлестку.

§ 202. Диаметр заклепок определяется по формуле: $d = \sqrt[3]{\delta a}$, где d — диаметр заклепок в см, δ — толщина железа в см и a — постоянная величина, имеющая следующие значения:

- для швов внахлестку $a = 0,4$ см
 » » впритык $a = 0,6$ »

Полученный по последней формуле теоретический размер округляется до ближайшего стандартного диаметра.

§ 203. Шаг заклепок в вертикальных швах резервуара определяется по расчету: минимальное значение шага 3δ , максимальное значение — 9δ , где δ — толщина железа.

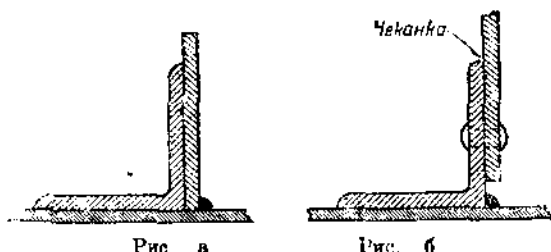
§ 204. Расстояние между рядами заклепок в многорядных швах в шахмат применяется следующее:

- а) для швов внахлестку двухрядных $e = 0,6 t$,
- б) для швов впритык двухрядных с равными накладками и для швов внахлестку трехрядных $e = 0,5 t$, где t — шаг заклепок,
- в) для швов впритык с разными накладками согласно эскизу.

§ 205. Расстояние от центра заклепок до края листа — $1,5 d_0 + 0,3 \delta$, где d_0 — диаметр отверстия и δ — толщина листа (второе слагаемое берется на чеканку).

§ 206. В сварных резервуарах надлежит применять плотные швы, избегая потолочной сварки. В сварных стенках прикрепление их к днищу производится приваркой угольника по верхней и нижней его кромкам и непосредственно листа к днищу (рис. а).

Продольная сварка листов днища должна быть симметричной с последовательностью сварки от центра днища к его периферии.



§ 207. При приварке днищ к клепанным стенкам приварка и чеканка производится согласно рис. б.

§ 208. Для стенок телескопов и колокола газгольдеров применяется железо толщиной 2—3 мм с односторонними швами внахлестку на хляпной прокладке, пропитанной суримом.

§ 209. В газгольдерах размеры затворов (чашек) определяются в зависимости от емкости и условий работы газгольдеров, толщина их рекомендуется 5—20 мм.

§ 210. В целях удешевления клепок тонких листов газгольдеров (уменьшения количества заклепок) для последних разрешается применять специально заклепки с уширенной головкой размером:

при диаметре заклепки 6 мм	8 мм
диаметр головки 16 мм	18 мм
высота » 6 »	7 »

Для таких заклепок шаг рекомендуется принимать: при диаметре 6 мм — 25 мм, при диаметре 8 мм — 30 мм.

Изготовление

§ 211. Материал листов должен быть выпрямлен перед разметкой, причем нагревание и удары молотом не допускаются.

§ 212. Пробивка дыр должна производиться перед обрезкой или отстрожкой и вальдовкой.

§ 213. Края листов должны быть подготовлены к чеканке посредством обрубки, отстрожки или автогенной резкой и скошены под углом.

§ 214. Оттяжка углов листов должна производиться при вишнево-красном калении.

§ 215. Клепанные швы резервуаров, а также швы чашек газгольдеров должны быть уплотнены чеканкой, которую рекомендуется производить только с внешней стороны.

Примечание. В тонких листах колокола и телескопов газгольдеров, где чеканка не допускается, кромки подбиваются тупой чеканкой с наружной и внутренней сторон и прокрашиваются суримом с обеих сторон.

§ 216. Днище и первый пояс резервуара должны быть склепаны и прочеканены настилаем.

Перед опусканием на основание днище испытывается наливом воды или жидкости, для которой предназначен резервуар, на высоту 150 мм; оно должно быть при этом совершенно непроницаемым.

§ 217. По окончании возведения корпуса резервуара готовый резервуар должен быть испытан водой или нефтяными продуктами до уровня верхнего угольника.

Если наполнение резервуара этим путем не представляется возможным, испытание должно быть сделано пропитыванием внутренних швов керосином и обследованием утечки с внешней стороны. Обнаруженные, таким образом, утечки должны быть уничтожены.

§ 218. Испытание плотных крыш резервуаров производится применением внутреннего давления воздуха, равного не менее 12 мм водного столба, с промачиванием всех швов мыльным раствором. Все обнаруженные утечки должны быть уничтожены.

§ 219. Швы телескопов и колокола газгольдера испытываются тем же путем; газгольдер при этом наполняется воздухом до наивысшего положения колокола; обнаруженные неплотности устраняются легкой подбивкой кромок. Ролпы при испытаниях должны быть отрегулированы по направляющим.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ Черные прокатные металлы Листовое железо толщиной от 0,9 до 12 мм Сортамент	ОСТ 500 МВИ (I. I. В.) 621 : 761 : 21

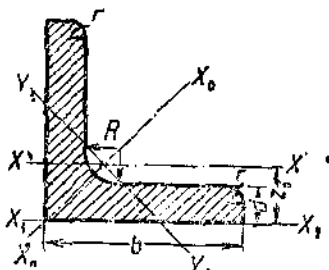
Указанные крестиками в нижеследующей таблице размеры ширины и длины для отдельных толщин являются рекомендуемыми для листов по ОСТ 19 и 20; листы указанных в таблице размеров прокатываются на заводской склад и могут поставляться заказчиком в наименьшие сроки

Толщина листов Ширина и длина листов	0,9	1,0 1,25	1,5 1,75	2,0 2,5 3,0	3,5 4,0 4,5 5,0	6,0 7,0	8,0 9,0 10,0 11,0 12,0
710 × 1420	×	×	×	×	×	×	×
1000 × 2000		×	×	×			
1350 × 2500			×	×	×	×	×
1400 × 2800				×	×	×	
1400 × 4200					×	×	
1500 × 3000						×	×
1500 × 4500						×	×
1500 × 6000						×	×
1800 × 5000							×
1800 × 10000							×

Июль 1929 г.

Утвержден Комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны
20 апреля 1929 г. как рекомендуемый

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 14
	Железо угловое равнобокое Сортамент	МВН (Л.В.): 621.761.21



№ про- филя	Размеры в мм				Площадь сечения F в см ²	Торгов. вес пог. метра g в кг	Расстояние центра те- жести Z_0 в см	Моменты инерции			
	b	d	R	r				J_{x1} в см ⁴	J_{y1} в см ⁴	J_{x0} в см ⁴	J_{y0} в см ⁴
2	20	3 4	3,5	1,75	1,12 1,45	0,88 1,14	0,60 0,64	0,793 1,030	0,392 0,492	0,6185 0,7710	0,1651 0,2124
2,5	25	3 4	4	2	1,43 1,86	1,12 1,46	0,72 0,76	1,535 2,084	0,798 1,012	1,262 1,597	0,3333 0,4273
3	30	4 5	4	2	2,26 2,77	1,77 2,17	0,83 0,92	3,59 4,54	1,824 2,183	2,884 3,440	0,764 0,925
3,5	35	4 5	5	2,5	2,67 3,28	2,10 2,57	1,10 1,04	5,64 7,13	2,954 3,564	4,68 5,64	1,227 1,493
4	40	4 6 6	6	3	3,08 3,79 4,48	2,42 2,97 3,52	1,12 1,16 1,20	8,33 10,54 12,78	4,47 5,43 6,31	7,09 8,59 9,98	1,659 2,263 2,654
4,5	45	6 6 7	6,5	3,25	4,30 5,09 5,86	3,37 4,00 4,60	1,28 1,32 1,36	14,95 18,11 21,31	7,87 9,19 10,43	12,48 14,55 16,47	3,27 3,84 4,39
5	50	6 6 7	7	3,5	4,80 5,69 6,56	3,77 4,47 5,15	1,40 1,44 1,48	20,43 24,74 29,10	10,96 12,85 14,62	17,38 20,34 23,10	4,55 5,35 6,13
6	60	6 7 8	8	4	6,91 7,98 9,03	5,42 6,26 7,09	1,69 1,73 1,77	42,5 49,9 57,4	22,84 26,05 29,16	36,15 41,30 46,15	9,53 10,82 12,16
6,5	65	6 8 10	8	4	7,51 9,83 12,07	5,89 7,72 9,47	1,81 1,89 1,97	54,0 72,9 92,1	29,36 37,66 45,20	46,60 59,70 71,50	12,13 15,63 19,03

Утвержден Комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 16 июля 1926 г. как обязательный с 1 октября 1928 г.

Железо угловое равнобокое

ОСТ 14

№ про- филь	Размеры в мм				Площадь сечения в см ²	Теорет. вес дол. метра g в кг	Расстояние центра та- жести Z ₀ в см	Моменты инерции			
	b	d	R	r				J _{x1} в см ⁴	J _x в см ⁴	J _{x0} в см ⁴	J _{y0} в см ⁴
7,5	75	8	10	5	11,47	1,00	2,13	110,9	58,9	93,3	24,40
		10			14,11	11,08	2,21	140,2	71,2	112,7	29,70
		12			16,67	13,09	2,29	170,0	82,6	130,3	34,86
8	80	8	10	5	12,7	9,63	2,25	134,6	72,5	114,6	30,40
		10			15,11	11,86	2,34	170,0	87,2	133,8	35,80
		12			17,87	14,03	2,41	205,8	102,0	160,7	43,26
9	90	10	11	5,5	17,13	13,45	2,58	241,0	127,0	201,3	52,5
		12			20,29	15,93	2,66	291,5	148,0	234,4	61,4
		14			23,37	18,35	2,74	342,6	167,8	265,4	70,3
10	100	10	12,5	6,25	19,17	15,05	2,82	328,7	176,3	280,0	72,7
		12			22,73	17,84	2,90	397,6	206,4	327,0	85,7
		14			26,21	20,57	2,98	467,0	234,5	371,0	97,6
		16			29,61	23,24	3,05	538,0	262,0	412,5	112,0
12	120	10	13	6,5	23,18	18,20	3,31	567	313,5	497	130,0
		12			27,54	21,62	3,40	685	367,0	584	150,4
		14			31,82	24,98	3,48	804	419,0	666	172,0
		16			36,02	28,28	3,55	924	470,0	748	197,3
13	130	10	13,5	6,75	25,20	19,78	3,56	721	402	640	163,5
		12			29,96	23,52	3,64	870	473	751	185,7
		14			34,64	27,19	3,72	1 021	541	858	224,6
		16			39,24	30,80	3,80	1 172	606	960	251,6
14	140	12	14	7	32,37	25,41	3,89	1 086	596	947	245,0
		14			37,45	29,40	3,97	1 273	683	1 084	281,3
		16			42,45	33,32	4,05	1 462	765	1 216	316,6
16	150	12	14	7	34,77	27,29	4,14	1 336	740	1 177	302,9
		14			40,25	31,60	4,22	1 565	849	1 349	348,4
		16			45,65	35,84	4,30	1 796	952	1 513	391,7
		18			50,97	40,01	4,38	2 029	1 054	1 674	438,6

Допуски

а) В ширине полок $\pm 3\%$

б) В толщине полок:

1. При ширине полок до 50 мм включит. $\pm 0,5$ мм
2. " " " свыше 50 до 100 мм $\pm 1,0$ "
3. " " " " 100 " 160 " $\pm 1,5$ "

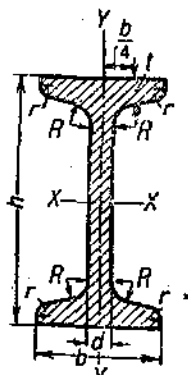
в) В длине углового железа:

1. С нефрезерованными концами длиной до 4 м ± 50 мм
2. " " " " " свыше 4 м ± 100 "
3. С фрезерованными концами " ± 10 "

Примечание. Измерение толщины и ширины полок должно производиться на расстоянии 700 мм от конца угольника.

Утвержден Комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 16 июля 1926 г. как обязательный с 1 октября 1928 г.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 16
	Железо двутавровое Сортамент	МВН (Л.В.): 021.761.21



№ про- филь	Размеры в мм						Площадь сечения в см ²	Теоретический вес погон. метра в кг	Моменты инерции		Моменты сопротивления	
	a	b	d	t	R	r			J _x в см ⁴	J _y в см ⁴	W _x в см ³	W _y в см ³
10	100	57,0	4,5	8,3	4,5	2,7	11,00	8,659	189,4	19,1	34,1	5,65
12	120	63,4	5,1	7,1	5,1	3,1	14,34	11,257	324,4	25,2	58,7	7,95
14	140	69,8	5,7	7,9	5,7	3,4	18,08	14,193	569,0	37,7	81,3	10,80
16	160	76,2	6,3	8,8	6,3	3,8	22,86	17,474	908,0	54,3	113,8	14,98
18	180	82,6	6,9	9,6	6,9	4,1	26,87	21,093	1391,0	75,9	153,4	19,40
20	200	89,0	7,5	10,4	7,5	4,5	31,91	25,049	2014,0	103,4	201,4	23,24
22	220	95,4	8,1	11,3	8,1	4,9	37,38	29,343	2843,0	127,5	258,5	28,33
24	240	101,8	8,7	12,1	8,7	5,3	43,29	33,982	3908,0	150,0	295,0	35,38
26	260	108,2	9,3	13,0	9,3	5,6	49,63	38,960	5234,0	171,0	403,0	43,75
28	280	114,6	9,9	13,9	9,9	5,9	56,40	44,274	6875,0	193,0	461,0	51,10
30	300	121,0	10,5	14,7	10,5	6,3	63,61	49,934	8831,0	214,0	529,0	60,50
32	320	127,4	11,1	15,5	11,1	6,7	71,25	55,931	11292,0	232,0	606,0	70,90
36	360	140,2	12,3	17,2	12,3	7,4	87,52	68,938	17544,0	299,0	975,0	95,30
40	400	153,0	13,5	18,9	13,5	8,1	106,13	83,312	24987,0	354,0	1204,0	124,70
45	450	170,0	16,2	24,3	16,2	9,7	147,00	115,000	45889,0	479,0	2040,0	308,00

Примечание. Уклон внутренних граней полок 14°/100.

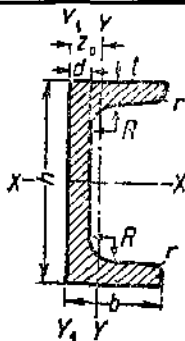
Допуски

- а) В толщине: 1. При высоте балок до 100 мм включительно $\pm 0,75$ мм
 2. » » » свыше 100 до 200 мм включ. $\pm 1,0$ »
 3. » » » 200 мм » $\pm 1,5$ »
 б) В ширине: 1. При высоте балок до 100 мм включительно $-2,0$ мм и $+0,75$ мм
 2. » » » свыше 100 до 200 мм включ. $-3,5$ » и $+1,0$ »
 3. » » » 200 мм » $-4,5$ » и $+1,5$ »
 в) В высоте: 1. При высоте балок до 100 мм включительно $-1,0$ мм и $+2,0$ мм
 2. » » » свыше 100 до 200 мм включ. $-1,5$ » и $+3,0$ »
 3. » » » 200 мм » $-2,0$ » и $+4,0$ »
 г) В диаметре: 1. Для балок с нефрезерован. концами длиной до 6,5 м $+50$ мм
 2. » » » » » свыше 6,5 м $+100$ »
 3. » » » с фрезерован. » » $+10$ »

Примечание. Измерение ширины и толщины полок производится на расстоянии 700 мм от концов балки.

Утвержден Комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 16 июля 1926 г. как обязательный с 1 октября 1928 г.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ Железо прокатное (швеллерное) Гортомонт	ГОСТ 17 МВН (I. I. В.): 621. 761. 21



№ про- филей	Размеры в мм						Площадь сечения в см ²	Теоретич. вес колон. метра g в кг	Рас- стояние центра тяж. z0 в см	Моменты инер- ции			Моменты сопротивл.	
	A	B	t	t ₁	R	r				J _{y1} в см ⁴	J _x в см ⁴	J _y в см ⁴	W _x в см ³	W _y в см ³
5	50	38	5	7,5	7,5	3,75	7,47	5,86	1,41	24,2	27,57	9,44	11,03	3,942
6,5	65	42	5,5	8	8	4	9,62	7,55	1,43	34,8	59,9	14,98	13,43	5,42
8	80	45	6	9	9	4,5	11,85	9,30	1,53	48,4	113,9	20,9	28,5	7,02
10	100	50	6	9	9	4,5	13,92	10,93	1,60	65,6	213,2	30,16	42,65	8,86
12	120	55	6,5	9,5	9,5	4,75	17,26	13,55	1,65	92,0	371,6	44,9	61,9	11,67
14	140	60	7	10,5	10,5	5,25	20,92	16,42	1,80	132,2	624,0	64,5	89,2	15,35
16	160	65	7,5	11	11	5,5	24,92	19,56	1,86	175,6	954,0	89,0	119,2	19,20
18	180	70	8	12	12	6	29,26	22,97	2,01	239,6	1433,0	121,0	159,2	24,26
20	200	75	8,5	12,5	12,5	6,25	33,93	26,64	2,08	306,0	2018,0	159,2	202,0	29,40
22	220	80	9	13,5	13,5	6,75	38,94	31,57	2,23	402,0	2831,0	207,8	257,3	33,00
24	240	85	9,5	14	14	7	44,28	34,76	2,30	499,0	3773,0	264,0	314,4	42,60
26	260	90	10	15	15	7,5	49,95	39,21	2,45	635,0	5045,0	334,0	388,0	51,00
30	300	100	11	16,5	16,5	8,25	62,30	48,91	2,68	957,0	8361,0	510,0	557,0	69,70

Примечания. 1. Углы внутренних краев не более 8°.

2. Для усиления прокатывают швеллеры № 18—30 с более толстыми стенками, с интервалами через 1—2 мм до двойной нормальной толщины.

Допуски

а) В толщине:

1. Для высоты до 100 мм включительно $\pm 0,75$ мм
2. » » свыше 100 до 200 мм $\pm 1,0$ »
3. » » » 200 мм $\pm 1,5$ »

б) В ширине:

1. Для высоты до 100 мм включительно $-2,0$ мм и $+0,75$ мм
2. » » свыше 100 до 200 мм $-3,5$ » и $+1,0$ »
3. » » » 200 мм $-4,5$ » и $+1,5$ »

в) В высоте:

1. Для высоты до 100 мм включительно $-1,0$ мм и $+2,0$ мм
2. » » свыше 100 до 200 мм $-1,5$ » и $+3,0$ »
3. » » » 200 мм $-2,0$ » и $+4,0$ »

г) В длине:

1. С нефрезерованными концами длиной до $6,5$ м ± 50 мм
2. » » » свыше $6,5$ м ± 100 »
3. С фрезерованными концами ± 10 »

Примечание. Измерение шир. и толщины полоз. производится на раст. 70 мм от концов швеллер.

Утвержден Комитетом по стандартизации при СТО 16/VI 1936 г. как обязательный с 1/X 1938 г.

Технические условия НКПС на заклепочное железо и заклепки Обычные материалы (369 ТУ 24)

§ 1. Заклепки всех сортов диаметром в 10 мм и более изготавливаются из литой стали Ст2. На поверхности заклепок не должно быть каких-либо пороков, и головки их должны быть симметричны по отношению к оси заклепок.

§ 2. Форма и размеры заклепок должны соответствовать условиям заказа с допусками, указанными для мостов в таблице в следующем параграфе.

Примечание. Диаметр заклепок измеряется в 6 мм от головки.

§ 3. Испытанию подлежит 1% от предъявляемого заклепочного железа и три заклепки на каждые 1000 шт.

§ 4. Испытание качества материала заклепочного железа должно удовлетворять условиям, указанным для стали марки Ст2, и кроме этого сталь испытывается на образование в горячем состоянии головки нормальной формы и размеров. При этом испытании не должно обнаруживаться трещины и надрывов.

§ 5. Готовые заклепки испытываются сгибанием головки в холодном состоянии до диаметра в $2\frac{1}{2}$ раза большего, чем диаметр стержня, и на образование головки нормальной формы и размеров в горячем состоянии, причем не должно обнаруживаться трещины и надрывов.

Примечание. Испытание по этому параграфу производится в том случае, когда заклепки изготавливаются из железа, поставленного другим заводом, или когда есть сомнение в годности заклепок.

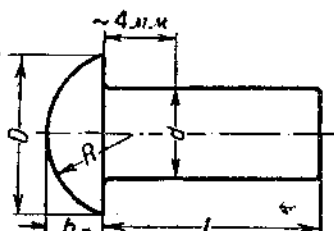
§ 8. В случае неудовлетворительности какого-либо испытания таковое повторяется над двойным количеством образцов; в случае повторной неудовлетворительности результатов испытания после пересортировки партии бракуется.

Специальные стали (§ 165 и 166 ТУ проектирования металлических пролетных стрелок ж.-д. мостов)

§ 165. Напряжение при пределе текучести для Ст5 должно быть 27 кг/мм², а специальной (кремнистой) стали — 33 кг/мм². Временное сопротивление при разрыве должно быть для обеих сталей в пределах от 45 до 55 кг/мм² при относительном удлинении 22%.

§ 166. Кусок заклепочной стали, длина которого равна удвоенному диаметру, должен быть осажив (сиджен) в горячем, соответствующем примечанию в п. 2, состоянии на половину своей длины, причем не должно быть обнаружено разрыва на его поверхности.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 184
	Заклепки с полукруглой головкой диаметром от 2,6 до 8 мм	МВИ (И.И.В.): 621.883



Диаметр вставленной заклепки d		2,6	3	3,5	4	5	6	7	8
Размеры головки	D	4,8	5,5	6,4	7,4	9,2	11	12,8	14,5
	h	1,6	1,8	2,1	2,4	3	3,6	4,2	4,8
	R	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8
Диаметр отверстия под заклепку (рекомендуемый)		—	—	—	—	—	6,5	7,5	8,5
Длина заклепки l	5								
	6	6							
	8	8	8	8					
	10	10	10	10	10	10			
	12	12	12	12	12	12			
		14	14	14	14	14	14		
			16	16	16	16	16	16	16
				18	18	18	18	18	18
				20	20	20	20	20	20
					22	22	22	22	22
					24	24	24	24	24
					26	26	26	26	26
						28	28	28	28
						30	30	30	30
						32	32	32	32
						35	35	35	35
						40	40	40	40
								45	45
								50	50
								60	60
								70	70

1. Стандарт распространяется на заклепки, изготовленные из железа.
2. Пример обозначения заклепки железной с полукруглой головкой, диаметром 5 мм, длиной 20 мм:

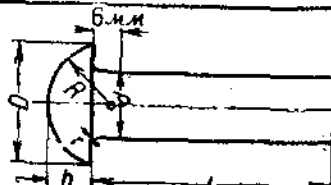
Заклепка полукр. железн. 5 × 20 ОСТ 184.

Утвержден Комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 13 января 1928 г. как обязательный с 1 октября 1928 г.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ		ОСТ 801
	Заклепки		МВН (I. I. E.) 621.888
	с полукруглой головкой		
	диаметром от 9,5 до 37 мм		Металл

Пример обозначения заклепки
железной с полукруглой головкой,
диаметром 22 мм, длиной
110 мм.

Заклепка полукруг. железн. 22X
X110 ГОСТ 801



Диаметр несоставленной заклепки d	9,5	11,5	13,5	16,5	19	22	25	28	31	34	37
Допускаемые отклонения в diam. заклепки	a наиб.	9,6	11,6	13,8	16,6	19,4	22,4	25,4	28,4	31,4	37,4
	a наим.	9,3	11,3	13,3	16,3	18,9	21,9	24,9	27,9	30,9	36,8
Размеры головки	D	17	21	24	29	34	39	44	50	55	65
	h	8	8	9	10	12	14	18	19	22	24
	R	9	11	12,5	15,5	18	20,5	23	28	28	34
	r	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5
Диаметр отверстия под заклепку	10	12	14	17	20	23	26	29	32	35	38
16*					22*						
18*					24*						
20					26*						
22	22*	22*	22*	22*	28*						
24	24	24*	24*	24*	30*						
26	26	26*	26*	26*	32*						
28	28	28	28	28*	35*						
30	30	30	30	30*	38*						
32	32	32	32	32*	40*						
35	35	35	35	35	42	42*					
38	38	38	38	38	45	45*					
40	40	40	40	40	48	48					
42	42	42	42	42*	50	50					
45	45	45	45	45	52	52	52				
48	48	48	48	48	55	55	55				
50	50	50	50	50	58	58	58				
52	52	52	52	52	60	60	60	60			
55	55	55	55	55	65	65	65	65	65		
58	58	58	58	58	70	70	70	70	70	70	
60	60	60	60	60	75	75	75	75	75	75	75
65	65	65	65	65	80	80	80	80	80	80	80
70	70	70	70	70	85	85	85	85	85	85	85
75	75	75	75	75	90	90	90	90	90	90	90
80	80	80	80	80	95	95	95	95	95	95	95
85	85	85	85	85	100	100	100	100	100	100	100
				90	110	110	110	110	110	110	110
			95	95	120	120	120	120	120	120	120
		100	100	100	130	130	130	130	130	130	130
					140	140	140	140	140	140	140
					150	150	150	150	150	150	150
					160	160	160	160	160	160	160
					170	170	170	170	170	170	170
					180	180	180	180	180	180	180
									190	190	
									200	200	

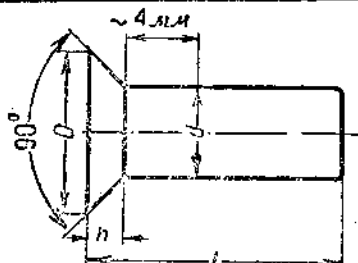
Длина заклепки

Дополнительные размеры, касающиеся заклепок, утвержден Комитетом по стандартизации при СТО 20 июля 1930 г. как обязательные с 1 октября 1930 г.

1. Материал — железный (сталь).
2. В случае крайней необходимости применять заклепки, длины которых не содержатся в данной таблице, рекомендуется для заклепок длиной до 100 мм включительно выбрать длины из ряда целых чисел с окончанием на 2, 5 и 8, а для заклепок длиной свыше 100 мм — с окончанием на 5 и 0.
3. Конусность на стержне допускается на длине ~ 50 мм, считая от конца стержня.

Утвержден Комитетом по стандартизации при СТО 6/VII 1928 г. как обязательный с 1/X 1928 г.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 185
	Заклепок с потайной головкой, диаметром от 4 до 8 мм	МБН (I.I.B.): 621.883



Диаметр непоставленной заклепки d		4	5	6	7	8
Размеры головки	D	7,2	9	10,8	12,6	14,4
	h	1,6	2	2,4	2,8	3,2
Диаметр отверстия под заклепку (рекомендуемый)		—	—	6,5	7,5	8,5
Длина заклепки l	10					
	12	12				
	14	14	14			
	16	16	16	16	16	
	18	18	18	18	18	18
	20	20	20	20	20	20
	22	22	22	22	22	22
		24	24	24	24	
		26	26	26	26	
		28	28	28	28	
		30	30	30	30	
		32	32	32	32	
			35	35	35	
				40	40	
					45	
					50	
					55	

1. Стандарт распространяется на заклепки, изготовленные из железа.
2. Пример обозначения заклепки железной с потайной головкой, диаметром 6 мм, длиной 24 мм.

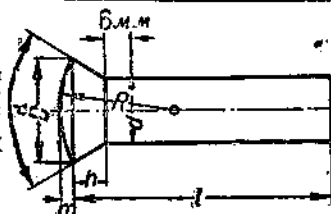
Заклепка потайн. железн. 6 × 24 ОСТ 185.

Утвержден Комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 13 января 1928 г. как обязательный с 1 октября 1928 г.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ Заклепки с полупотайной головкой, диаметром от 9,5 до 37 мм	ОСТ 803 МВИ (I. I. В.): 621 883 Металл

Пример обозначения заклепки
железной с полупотайной головкой,
диаметром 22 мм, длиной
110 мм.

Заклепка полупот. железн. 22х
×110 ОСТ 803



Диаметр неопотайной заклепки		9,5	11,5	13,5	16,5	19	22	25	28	31	34	37
Размеры головки	α	75°			83°			45°				
	D	15,2	18,5	22	25,0	30	35	39,5	39,5	44	48	52,5
	h	3,8	4,6	5,4	7,5	9,5	11	12,5	14	15,5	17	18,5
	m	1,7	2	2,5	8	8,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
$R \sim$		18	22	25	28	34	40	46	42	46	50	55
Диаметр отверстия под заклепку		10	12	14	17	20	23	26	29	32	35	38
Длина заклепки	18*	18*	18*		28*							
	20*	20*	20*		30*							
	22*	22*	22*		32*							
	24*	24*	24*	24*	35*							
	26*	26*	26*	26*	38*							
	28*	28*	28*	28*	4*	40*						
	30*	30*	30*	30*	42*	42*						
	32*	32*	32*	32*	45*	45*	45*					
	35*	35*	35*	35*	48*	48*	48*	48*				
	38*	38*	38*	38*	50*	50*	50*	50*				
	40*	40*	40*	40*	52*	52*	52*	52*				
	42*	42*	42*	42*	55*	55*	55*	55*				
	45*	45*	45*	45*	58*	58*	58*	58*	58*			
	48*	48*	48*	48*	60*	60*	60*	60*	60*			
	50*	50*	50*	50*	65*	65*	65*	65*	65*	65*		
	52*	52*	52*	52*	70*	70*	70*	70*	70*	70*		
	55*	55*	55*	55*	75*	75*	75*	75*	75*	75*		
	58*	58*	58*	58*	80*	80*	80*	80*	80*	80*		
	63*	63*	63*	63*	85*	85*	85*	85*	85*	85*	85*	
	65*	65*	65*	65*	90*	90*	90*	90*	90*	90*	90*	90*
	70*	70*	70*	70*	95*	95*	95*	95*	95*	95*	95*	95*
	75*	75*	75*	75*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*
				80*	110*	110*	110*	110*	110*	110*	110*	110*
				85*	120*	120*	120*	120*	120*	120*	120*	120*
				90*	130*	130*	130*	130*	130*	130*	130*	130*
				95*	140*	140*	140*	140*	140*	140*	140*	140*
				100*	150*	150*	150*	150*	150*	150*	150*	150*
					160*	160*	160*	160*	160*	160*	160*	160*
					170*	170*	170*	170*	170*	170*	170*	170*
					180*	180*	180*	180*	180*	180*	180*	180*
										190*	190*	190*
										200*	200*	200*

Дополнительные размеры (пометки в скобках) утверждены Комитетом по станд. при ОТО 80 июля 1930 г. как обязательные с 1 октября 1930 г.

1. Материал — железо (сталь).

2. В случае крайней необходимости применять заклепки, длины которых не содержатся в данной таблице, рекомендуется для заклепок длиной до 100 мм дополнительно выбирать длины из ряда целых чисел с окончанием на 2, 5 и 8, а для заклепок длиной свыше 100 мм — с окончанием на 5 и 0.

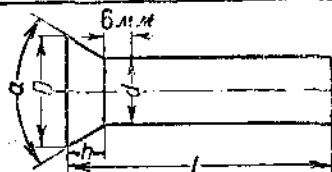
3. Конусность на стержне допускается на длине ~ 50 мм, считая от конца стержня.

4. Допускаемые отклонения в диаметре заклепки см. ОСТ 301.

Утвержден Комитетом по стандартизации при ОТО 6/II 1938 г. как обязательный с 1/X 1929 г.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ					ОСТ 302				
	Заклепки с потайной головкой, диаметром от 9,5 до 37 мм					МБН (Г. I. В.): 021. 888				
						Металлы				

Пример обозначения заклепки железной с потайной головкой, диаметром 22 мм, длиной 110 мм
Заклепка потайн. желез.
 22×110 ОСТ 302



Диаметр неоправленной заклепки		9,5	11,5	13,5	16,5	19	22	25	28	31	34	37
Размеры головки	a	75°			60°				45°			
	D	10,2	18,5	22	25	30	35	39,5	39,6	44	48	52,5
	b	3,8	4,6	5,4	7,5	9,5	11	12,5	14	15,5	17	18,5
Диаметр отверстия под заклепку		10	12	14	17	20	23	26	29	32	35	38
Длина заклепок <i>l</i>	26	26*	26*	26*	48							
	28	28*	28*	28*	50							
	30	30	30*	30*	52							
	32	32	32*	32*	55	55						
	35	35	35	35*	58	58						
	38	38	38	38*	60	60	60					
	40	40	40	40*	65	65	65					
	42	42	42	42	70	70	70					
	45	45	45	45	75	75	75	75				
	48	48	48	48	80	80	80	80	80			
	50	50	50	50	85	85	85	85	85	85		
	52	52	52	52	90	90	90	90	90	90	90	
	55	55	55	55	95	95	95	95	95	95	95	
	58	58	58	58	100	100	100	100	100	100	100	100
	60	60	60	60	110	110	110	110	110	110	110	110
	65	65	65	65	120	120	120	120	120	120	120	120
	70	70	70	70	130	130	130	130	130	130	130	130
	75	75	75	75	140	140	140	140	140	140	140	140
			80	80	150	150	150	150	150	150	150	150
			85	85		160	160	160	160	160	160	160
			90	90		170	170	170	170	170	170	170
			95	95		180	180	180	180	180	180	180
			100	100						190	190	190
										200	200	200

Дополнительные размеры (помеченные звездочкой) утверждены Комитетом по стандартизации при СТО 20 июля 1930 г. как обязательные с 1 октября 1930 г.

1. Материал — железо (сталь).
2. В случае крайней необходимости применять заклепки, длины которых не содержатся в данной таблице, рекомендуется для заклепок длиной до 100 мм включительно выбирать длины из ряда целых чисел с окончанием на 2, 5 и 8, а для заклепок длиной свыше 100 мм — с окончанием на 5 и 0.
3. Конусность на стержне допускается на длине ~ 5) мм, считая от конца стержня.
4. Допускаемые отклонения в диаметре заклепки см. ОСТ 301.

Утвержден Комитетом по стандартизации при СТО 6/VII 1928 г. как обязательный с 1/X 1929 г.

Условные обозначения заклепок на чертежах металлических конструкций

Проект ВСНХ СССР № 209* (извлечение)

Условные обозначения диаметров заклепок

Диаметр отверстия под заклепку	10	12	14	17	20	23	26	29	32	35	38
Условные обозначения диаметров заклепок при масштабах 1:10 и 1:5											
Диаметр кружка 6 мм при масштабах	1:10	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6
	1:5	4	4	4	8	8	8	8	12	12	12

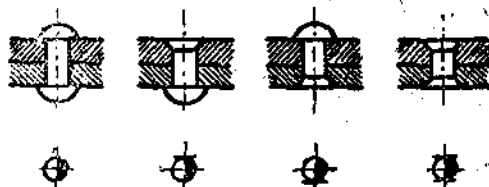
Для обозначения расположения заклепок на чертежах в масштабе 1:20 следует применять однообразные для всего чертежа условные обозначения в виде крестиков либо в виде незатененных кружков диаметром от 1 до 2 мм. Указание диаметров заклепок в этом случае может производиться по усмотрению технических бюро заводов путем простановки соответствующего размера около условного обозначения.

Условные обозначения головок заклепок

Полукруглые головки изображаются помощью вышеуказанных условных обозначений диаметров.

Потайные головки отмечаются проведением касательных к кружкам, обозначающим диаметры заклепок. Ниже дан пример обозначений, вычерченный для заклепки 32 мм в масштабе 1:10 (диаметр кружка 6 мм).

Тип соединения:
Условно обозначено.



Примечания: 1. Монтажные заклепки, в том случае когда они отмечаются на чертежах, изображаются черными кружками размером 0,5—1 мм с указанием диаметра их.

2. Временно рекомендуется сопровождать чертежи записками.

3. Полупотайные головки должны указываться надписью.

4. Обозначения судостроительных заклепок подлежат особой разработке.

Таблица для определения длины заклепок

На угар и потерю к количеству прибавлять %			
Диам. заклеп. в мм	% прибавки	Диам. заклеп. в мм	% прибавки
8	15	16,5	8
9,5	10	19	6
11,5	10	22	5
13,5	10	25	4

Длина заклепок l при различных d в мм										$l = 1,12d + 1,4d$				
Толщина соединяем. частей в мм	Диаметр заклепок в мм								Толщина соединяем. частей в мм	Диаметр заклепок в мм				
	8	9,5	11,5	13,5	16,5	19	22	25		13,5	16,5	19	22	25
2,5	16								69	100	100	110	110 ⁰	120
3	16								70	100		110	110	120
4	16								71	100		110	110	120
5	16								72	100		110	120	120
6	18	20							73	100		110	120	120
7	20	22	24						74			110	120	120
8	20	22	26	28					75			110	120	120
9	22	24	26	28					76			120	120	120
10	22	24	28	30	35				77			120	120	130
11	24	26	28	32	35				78			120	120	130
12	24	26	30	32	38	40			79			120	120	130
13	26	28	30	35	38	42			80			120	120	130
14	26	28	32	35	38	42			81			120	130	130
15	28	30	32	35	40	45	48	52	82			120	130	130
16		32	35	38	42	45	48	52	83			120	130	130
17		32	35	38	42	45	50	55	84			120	130	130
18		35	38	40	45	48	50	55	85			130	130	130
19		35	38	40	45	48	52	58	86			130	130	140
20		35	38	42	45	50	55	58	87			130	130	140
21		38	40	42	48	50	55	58	88			130	130	140
22		38	40	45	48	52	55	60	89			130	130	140
23		40	42	45	48	52	58	60	90			130	140	140
24		40	42	45	50	55	58	65	91			130	140	140
25		42	45	48	52	55	58	65	92			130	140	140

Длина заклепок l при различных d в мм $l = 1,12d + 1,4d$

Толщина соединяем. частей в мм	Диаметр заклепок в мм								Толщина соединяем. частей в мм	Диаметр заклепок в мм				
	8	9,5	11,5	13,5	16,5	19	22	25		13,5	16,5	19	22	25
26		42	45	48	52	55	60	65	93			130	140	140
27		43	48	50	55	58	65	65	94			140	140	140
28		45	48	50	55	58	65	70	95			140	140	150
29		45	48	52	55	60	65	70	96			140	140	150
30		48	50	52	58	60	65	70	97			140	140	150
31		48	50	55	58	65	65	70	98			140	140	150
32		50	52	55	58	65	70	70	99			140	150	150
33		50	55	55	60	65	70	75	100			140	150	150
34		52	55	58	65	65	70	75	101			140	150	150
35		52	55	58	65	65	70	75	102			140	150	150
36		55	58	60	65	70	75	75	103			150	150	150
37		55	58	60	65	70	75	80	104			150	150	160
38		55	58	65	65	70	75	80	105			150	150	160
39		58	60	65	70	70	75	80	106			150	150	160
40		58	60	65	70	75	75	80	107			150	150	160
41		60	65	65	70	75	80	80	108			150	160	160
42		60	65	65	70	75	80	85	109			150	160	160
43		65	65	70	75	75	80	85	110			150	160	160
44		65	65	70	75	75	80	85	111			150	160	160
45		65	70	70	75	80	85	85	112			150	160	160
46		65	70	70	75	80	85	90	113			160	160	160
47		65	70	75	75	80	85	90	114			160	170	170
48		70	70	75	80	80	85	90	115			160	170	170
49		70	70	75	80	85	85	90	116			160	170	170
50		70	75	75	80	85	90	95	117			170	170	170
51		70	75	80	80	85	90	95	118			170	170	170
52		75	75	80	85	85	90	95	119			170	170	170
53		75	75	80	85	85	90	95	120			170	170	170
54		75		80	85	90	95	95	121			170	170	170
55		75		80	85	90	95	100	122			170	170	170
56				85	85	90	95	100	123			170	180	180
57				85	90	90	95	100	124			170	180	180
58				85	90	95	95	100	125			170	180	180
59				85	90	95	100	110	126			180	180	180
60				90	90	95	100	110	127			180	180	180
61				90	95	95	100	110	128			180	180	180
62				90	95	100	100	110	129			180	180	180
63				90	95	100	110	110	130			180	180	180
64				90	95	100	110	110	131			180		
65				95	95	100	110	110	132			180		
66				95	100	100	110	110	133			180		
67				95	100	110	110	110	134			180		
68				95	100	110	110	120						

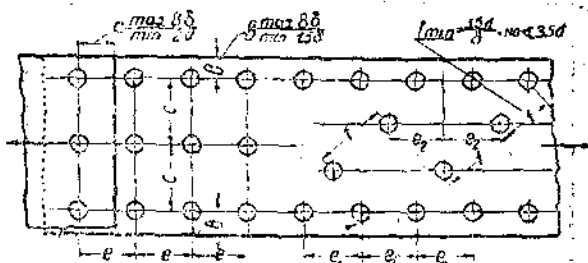
Таблица веса заголовков

Вес 1000 заголовков в кг

Длина заголовок	Д и а м е т р з а к л о н о к					Длина заголовок	Д и а м е т р з а к л о н о к						
	8	9,5	11,5	13,5	16,5		19	22	25				
16	9,956												
18	10,746												
20	11,536	17,335											
22	12,326	18,147											
24	13,116	19,559	32,713										
26	13,906	20,671	34,343										
28	14,696	21,783	36,973										
30		22,895	37,603	50,449									
32		24,007	39,233	52,687									
34		25,675	41,678	54,946									
36		27,343	44,123	58,317	68,770								
38		29,445	45,753	61,589	93,807								
40		31,235	49,828	63,997	97,165								
42		33,903	52,273	66,185	100,529								
44		36,127	55,533	69,557	105,560								
46		38,415	58,903	72,929	110,587								
48		40,795	62,053	75,177	113,955								
50		43,235	66,128	77,425	117,313								
52		45,135	70,203	80,797	122,350								
54		47,915	74,278	84,169	127,387								
56				86,417	130,745								
58				88,797	134,104								
60				91,057	137,463								
62				93,807	140,822								
64				96,557	144,181								
66				99,307	147,540								
68				102,057	150,899								
70				104,807	154,258								
72				107,557	157,617								
74				110,307	160,976								
76				113,057	164,335								
78				115,807	167,694								
80				118,557	171,053								
82				121,307	174,412								
84				124,057	177,771								
86				126,807	181,130								
88				129,557	184,489								
90				132,307	187,848								
92				135,057	191,207								
94				137,807	194,566								
96				140,557	197,925								
98				143,307	201,284								
100				146,057	204,643								

Размещение заклепок и болтов в прочных швах

§ 42. Размещение заклепок и болтов производится по конструктивным соображениям в соответствии с установленными рисками (стр. 354) и изложенными ниже ограничениями (см. риски).



Расстояние между центрами смежных заклепок диаметром d в ряду по направлению усилия (шаг e заклепок) должно быть не менее $3d$ и не более $8d$ в сжатых элементах и $12d$ в растянутых, но во всяком случае не более 16-кратной толщины самого тонкого из склепываемых листов. В стыках эти расстояния уменьшаются до $8d$, а в крайнем ряду заклепок при отсутствии окаймляющих уголков до $7d$.

Расстояние от центра заклепки до края элемента вдоль усилия должно быть не менее $2d$ и не более 8-кратной толщины элемента.

Расстояние от ближайшего ряда заклепок до края элемента нормально к направлению усилия должно быть не менее $1,5d$ и не более 8-кратной толщины прилегающего элемента. В исключительных случаях (крепление двутавров за узкую полку и т. д.) допускается уменьшить это расстояние до $1,25d$.

Расстояние e между рядами (нормально к действию усилия) берется в тех же пределах, как и шаг e заклепок.

При шахматном расположении расстояние между центрами заклепок по диагонали должно быть не менее $\frac{3,5}{8}d$, но не менее $3,5d$; здесь 3 — толщина, в см.

Расстояние в крайних рядах между центрами смежных заклепок e_1 и расстояние промежуточных (некрайних) рядов между центрами заклепок в соседних рядах e_2 берутся в тех же пределах, как и шаг e при рядовом расположении.

§ 43. В стержнях, работающих на осевую силу, число заклепок, прикрепляющих элемент в узле или расположенных по одну сторону стыка, рекомендуется иметь не менее двух.

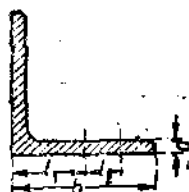
* Извлечение из СТУ и норм проектирования и возведения металлических конструкций в сооружениях, мал. 1941 г.

Размещение заклепок (риски) в угловом равнобоком и неравнобоком железе

Впредь до введения стандарта размещения заклепок в угловом равнобоком и неравнобоком железе риски принимаются А. В стержнях, имеющих штыки, согласно табл. 1 (рекомендуется):

Таблица 1

b	l_1	b	l_1	l_2
50	30	120	55	85
60	35	130	55	90
65	35	140	60	100
75	45	140 ¹	65	100
80	45	150	60	110
90	55	150 ²	65	110
100	60			
120	65			



Б. В стержнях, не имеющих штыков, согласно табл. 2 (разрешается):

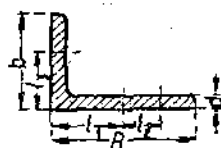


Таблица 2

b	l_1	d заклепки	b	l_1	l_2	d заклепки
50	28	17	120	45	90	20
60	33	20		48	85	23
65	33	20		50	80	26
75	38	20	130	45	100	20
	40	23		48	95	23
80	38	20		50	90	26
	40	23	140	48	120	20
90	40	20		50	115	23
	43	23		53	110	26
	45	26				
100	43	20				
	45	23				
	48	26				

¹ При толщинах 16 мм.

² При толщинах 16 и 18 мм.

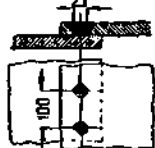
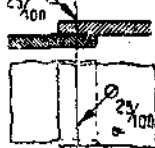
Условные обозначения сварных швов

Впредь до издания стандартных условных обозначений сварных швов на чертежах металлических конструкций рекомендуется применять таковые по системе проф. В. П. Богданова (табл. 1—2).

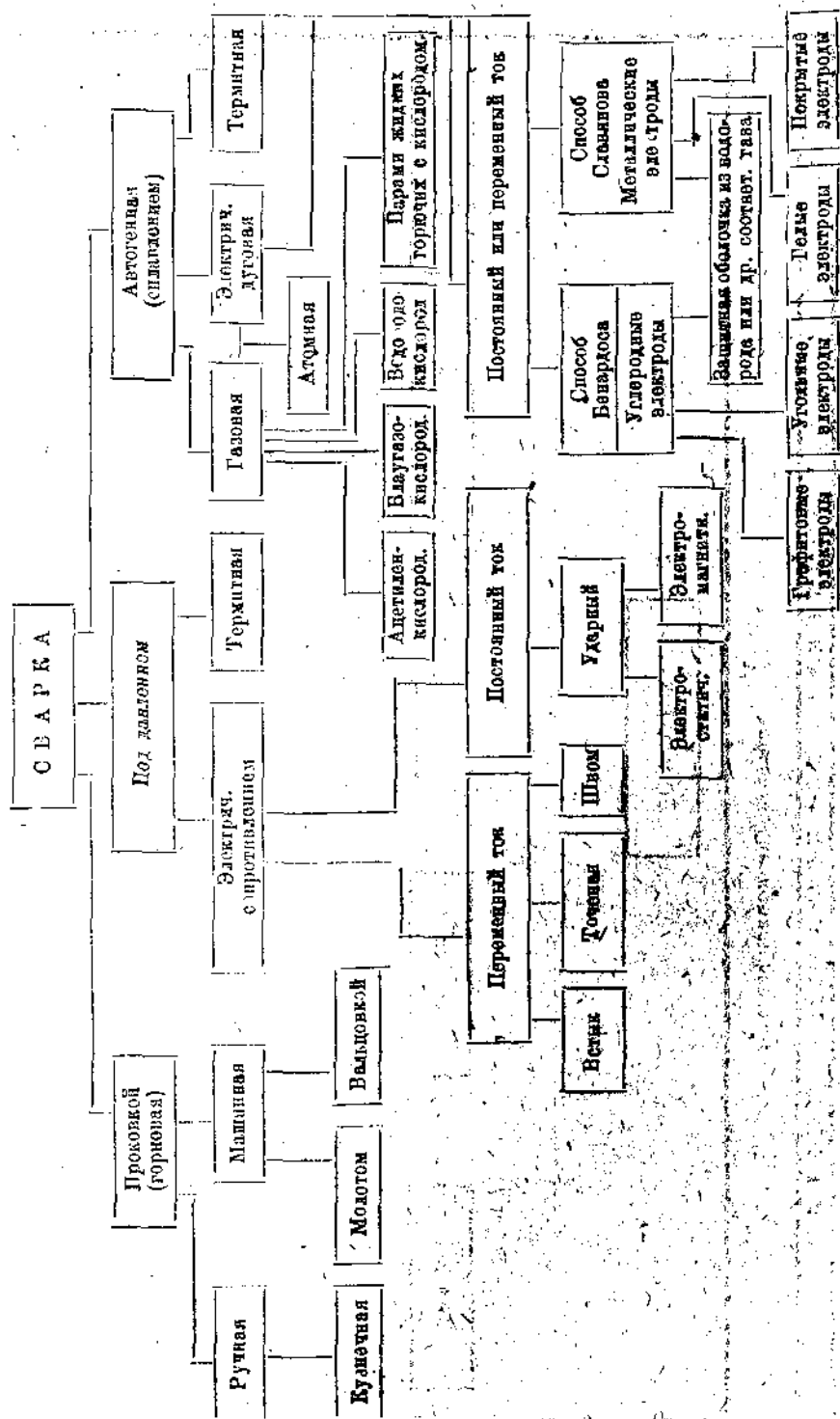
Таблица 1

А. Местоположение шва.		
1. Линая шва указывается острым стрелкой.		
2. Длина шва (в случае необходимости) ограничивается волнистыми линиями.		
3. Пересекающиеся швы обозначаются одной стрелкой в точке пересечения.		
4. Лицевые швы (видимые) имеют индекс усиления на конце стержня стрелки.		
5. Тыловые швы (невидимые) имеют индекс усиления на конце стержня стрелки.		
Б. Сплошные и прерывистые швы.		
6. Сплошной шов обозначается стрелкой с целым стержнем.		
7. Прерывистый шов обозначается стрелкой с разрывом на стержне.		
8. Степень прерывистости указывается «индексом прерывистости», в котором числитель — длина наварки в мм, а знаменатель — пропуск.		
9. Шахматный шов указывается стрелками под 45° к линии шва.		
10. Парный шов указывается стрелками, нормальными к линии шва.		
В. Обработка кромок. Обработка кромок указывается «индексами обработки» на стержне стрелки.		
11. Кромки прямоугольные (без обработки).		
12. Одна кромка скошена.		
13. Обе кромки скошены.		
14. То же — с неполным скосом.		

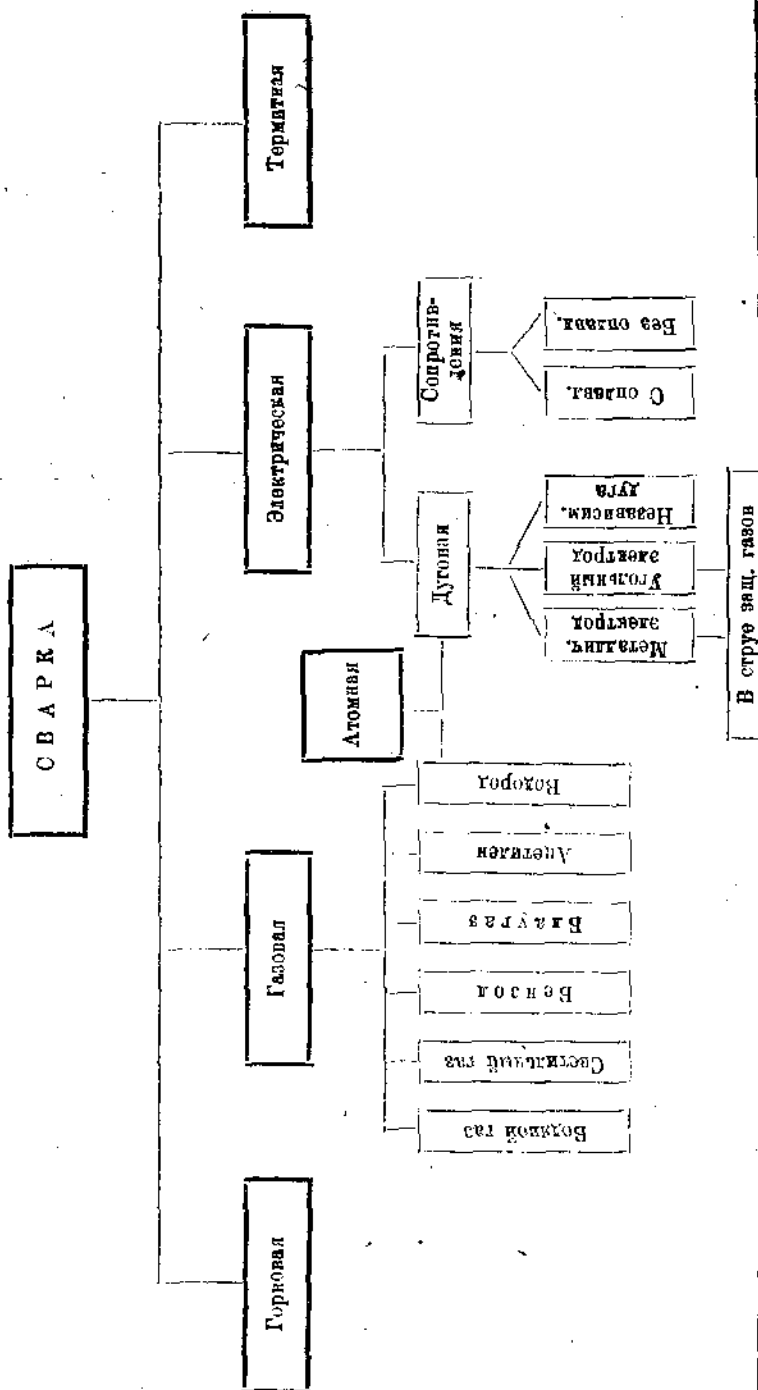
Таблица 2

15. Х-образный шов.		
16. То же — неполный.		
17. Т-образное соединение без скоса.		
18. То же — с односторонним скосом.		
19. То же — с двусторонним скосом.		
20. Стык с прямоугольными или скошенными кромками с проваркой на накладки.		
Г. Характер швов. Характер швов обозначается «индексом усиления», которые наносятся на стержнях стрелок соответственно положению шва (см. ил. 4 и 5).		
21. Шов нормальный.		
22. Шов усиленный.		
23. Шов облегченный.		
24. Шов двусторонний нормальный.		
25. Шов комбинированный.		
Д. Особые случаи. 26. Электрозаклепки обозначены кружком на стержне стрелки с индексом, указывающим в числителе диаметр дыры в мм, а в знаменателе шаг в мм.		
27. Сложная наварка обозначается чертой рядом со стержнем стрелки с указанием толщины навариваемого слоя в мм.		

АМЕРИКАНСКИЙ НАСЛЕДСТВО В ИДОВ СВОИ



Классификация видов сварки



СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	§ 242. ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ГОСТ 93
	Лесные материалы хвойных пород пиленные 1 сортамент	МБИ (I. I. в) 674—088

Длина в м: 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7,2

[illegible]

1. Все размеры установлены для материалов в воздушно-сухом состоянии. Допуски и методы измерения будут изложены в стандарте ТУ.

2. Размеры длин 5,5 и 6 м, а также размеры ширины, отмеченные в таблице (крестиком), включены в стандарт дополнительно.

Примечания: 1. Материал может изготавливаться в комбинированной длине для последующей перерезки на стандартные размеры.

2. До 50% материала в партии может изготавливаться длиной: 2; 2,5; 3 и 3,5 м. В брусках сечением от 20 × 25 мм и выше процент брусков по длине от 2 до 3,5 м не ограничивается.

3. Допускается размер длины в 2,7 м как отход при заготовке шпала.

4. Ширина безобрезного материала определяется по середине длины доски, учитывая ширину обеих сторон с добавлением их суммы пополам. Размеры безобрезного материала по ширине устанавливаются от 6 см и выше с границей через 1 см.

б. Длина в 4,5 м устанавливается как временный размер для ремонта старых зданий (6 арш.)

6. Размеры ж.-д. лесовозных брусьев, полевых вагонных досок, вагонной обшивки, вагонских досок и планок для снеговых щитов, а также материалов специального назначения для других потребителей устанавливаются особыми стандартами.

Лесные материалы хвойных пород — определение, ТУ и правила приемки — см. ГОСТ 603—610.

Утвержден Комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 7 июня 1927 г. как обязательный с 1 января 1928 г. при расчленке на заводах, работающих на гужевом сырье; с 1 июня 1928 г. — при расчленке на заводах, работающих на сплавном сырье.

¹ Данный стандарт является стандартом лесоматериалов внутреннего рынка.

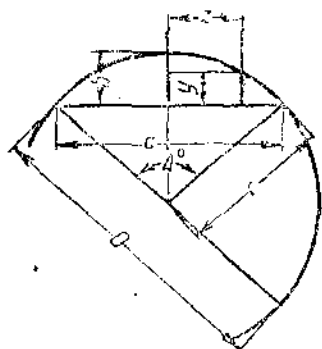
Удельные веса жидкостей

Название жидкости	Удельный вес	При температуре в °С	Название жидкости	Удельный вес	При температуре в °С
Азотная кислота			Метилацетон	0,81	4
с 25% HNO_3	1,15	15	Минеральные смазочные масла	0,9	20
» 40% HNO_3	1,25	15	Молекула	0,93	15
» 91% HNO_3	1,50	15	Натровая кислота	1,03	15
Алкоголь безводный	0,79	15	с 13% NaOH	1,15	15
Альдегид	0,80	0	» 22% NaOH	1,25	15
Амизацетон	0,81	20	» 66% NaOH	1,70	15
Анилин	1,04	0	Нефть ¹	0,76 ²	19
Аппсовое масло	1,00	16	Нефтяной эфир	0,67	15
Ацетон	0,79	20	Олеиновая кислота	0,90	15
Бензин	0,68	15	Оливковое масло (деревян. прованское масло)	0,92	15
Бензол	0,90	0	Пальмовое масло	0,91	15
Бром	3,19	0	Пиво	1,02	—
Белок яичный	1,04	15	Ранковое масло сырое	0,92	15
Валериановое масло	0,97	16	» » очищен.	0,91	15
Вино (рейяск.)	0,99	—	Ртуть	13,5956	0
Вода (дистиллиров.)	1,00	4	Серауглерод	1,29	15
Вода (морская)	1,02	15	Серная кислота		
Ворвань	0,92	15	с 7,5% H_2SO_4	1,05	15
Глицер. безводный	0,93	0	» 27% H_2SO_4	1,20	15
» с 50% воды	1,13	0	» 50% H_2SO_4	1,40	15
Деготь каменноугольный	1,20	—	» 87% H_2SO_4	1,80	15
Деревянное масло	0,92	—	Серная кислота дымящ.	1,89	15
Древесный спирт	0,81	0	Сернистая кислота студен.	1,49	—20
Калиевая мелочь			Смоляное масло	0,96	15
с 12% KOH	1,10	15	Соляная кислота		
» 31% KOH	1,30	15	с 16% HCl	1,05	15
» 63% KOH	1,70	15	» 46% HCl	1,20	15
Камфорное масло	0,91	—	Сосновое масло сырое	0,85	15
Касторовое »	0,97	15	Сурепное масло сыр.	0,92	15
Карболовая кислота черн.	0,95	15	» » очищ.	0,91	15
Керосин	0,79	15	Терпентинное масло	0,87	16
Копытный жир	0,82	15	Тресковый жир	0,94	15
Кокосовое масло	0,93	15	Фототен	0,78	15
Креозотовое масло	0,96	15	Хлористый натрий	0,85	15
Лавандуловое масло	1,04	15	с 14% NaCl	1,10	15
Лимонное »	1,10	15	» 26% NaCl	1,20	15
Льняное варен. »	0,88	16	Хлороформ	1,48	18
Маковое »	0,84	16	Цианок. купорос		
Масляная кислота	0,94	15	с 17% $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$	1,10	15
Медный купорос	0,92	15	» 55% $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$	1,40	15
с 15% $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$	0,96	15	Эфир этиловый	0,74	0
» 28% $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$	1,15	15	Янтарное масло	0,80	15

¹ По Нйitte, т. 1.² Средний удельный вес советской нефти 0,85—0,97 («Справочник по нефтяному делу», изд. 1925 г.).

Площади, объемы и поверхности тел

Свойства окружности



$$\text{Окружность } C = 2\pi r = \pi D.$$

$$\text{Диаметр } D = \frac{C}{\pi} = C \cdot 0,3183 = 2r.$$

$$\text{Дуга } a = \frac{\pi \cdot r \cdot A^\circ}{180} = 0,01745 \cdot r \cdot A^\circ.$$

$$\text{Угол } A = \frac{180}{\pi \cdot r} \cdot a = 57,2958 \frac{a}{r}.$$

$$\text{Радиус } r = \frac{4b^2 + c^2}{8b}.$$

$$\text{Диаметр } D = \frac{4b^2 + c^2}{4b}.$$

$$\text{Хорда } c = 2\sqrt{2br - b^2} = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{A^\circ}{2}.$$

$$\text{Стрелка } b = r - \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - c^2} = \frac{c}{2} \operatorname{tg} \frac{A^\circ}{4} = 2r \sin^2 \frac{A^\circ}{4}.$$

$$\text{Стрелка } b = r + y - \sqrt{r^2 - z^2}; \quad y = b - r + \sqrt{r^2 - z^2}; \\ z = \sqrt{r^2 - (r + y - b)^2}.$$

Площади плоских поверхностей

Треугольник

$$\text{Основание} \times \frac{1}{2} \cdot \text{высоты:}$$

$$\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)};$$

$$s = \frac{1}{2} (a + b + c).$$

Параллелограм

$$\text{Основание} \times \text{высоту.}$$

Круг

$$\pi r^2 = 0,7854 \cdot D^2 = 0,07958 \cdot C^2.$$

Сектор круга

$$\frac{\pi r^2 \cdot A^\circ}{360} = 0,008727 \cdot r^2 A^\circ = a \cdot \frac{1}{2} r.$$

Сегмент круга

$$\frac{r^2}{2} \left(\frac{\pi \cdot A^\circ}{180} - \sin A^\circ \right).$$

Круг равновеликий по площади квадрату — $D = \text{сторона} \times 1,1284.$

Квадрат равновеликий по площади кругу — $\text{сторона} = D \times 0,8862.$

Эллипс

— наибольший $D \times$ наименьший $D \times 0,7854.$

Площадь листа $chlm$ сектора:

$$\frac{\pi \cdot A^\circ}{360} (r^2 - r_1^2).$$

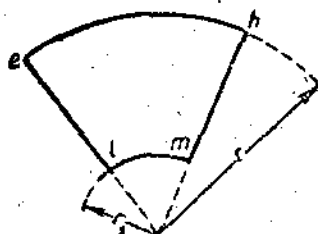
$$0,008727 \cdot A^\circ (r^2 - r_1^2).$$

$$\frac{1}{2} (\operatorname{arc} ch \cdot r - \operatorname{arc} lm \cdot r_1).$$

Площадь крайнего листа $fgij$:

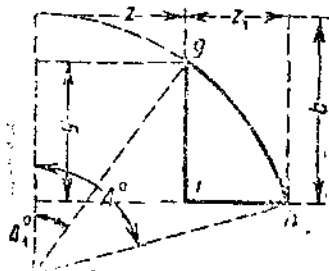
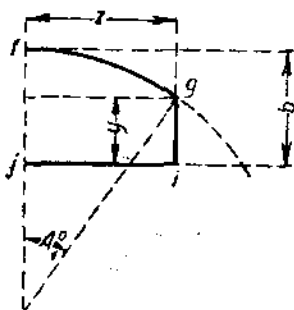
$$\dots \frac{r^2}{2} (0,01745 A^\circ - \sin A_1^\circ \cdot \cos A_1^\circ) + xy;$$

$$\frac{\operatorname{arc} fg \cdot r - (r - b + y)z}{2} + xy.$$



Площадь крайнего листа gh :

$$\dots \frac{r^2}{2} [0,01745 (A^\circ - A_1^\circ) - \sin A^\circ \cos A^\circ + \sin A_1 \cos A_1^\circ] - zy; \\ \frac{(\arcsin gh - z_1)r + bz_1 + yz}{2} - zy.$$



Поверхность и объем тел

S — боковая или выпуклая поверхность.

V — объем.

Параллелепипед.

S — периметру P сечения, перпендикулярного сторонам $\times$ длине боковой стороны l :

$$S = Pl.$$

V — площадь основания $B \times$ на высоту h : $V = B \cdot h$.

Цилиндр прямой или наклонный, круговой или эллиптический.

S — периметру P основания $\times$ на высоту h : $S = P \cdot h$.

V — площади основания $B \times$ на высоту h : $V = B \cdot h$.

Пирамида или прямой конус.

S — периметру P основания $\times$ на $\frac{1}{2}$ высоты грани (или образующей) l : $S = Pl$.

V — площадь основания $B \times \frac{1}{3}$ высоты h : $V = \frac{1}{3} Bh$.

Усеченная пирамида или усеченный прямой конус.

S — (сумма периметров P основания и b — верхнего сечения) $\times \frac{1}{2}$ высоты боковой грани (или образующей) l .

$$S = \frac{1}{2} l (P + b).$$

V — (сумма площадей основания B и верхнего сечения b) $\times \sqrt{Bb} \times \frac{1}{3}$ высоты h :

$$V = \frac{1}{3} h (B + b + \sqrt{B \cdot b}).$$

Прямой конус.

$V = \frac{1}{6}$ высоты h (сумма площадей основания B и верха $b + 4 \times$ площадь сечения M параллельного основанию и посередине между ними).

$$V = \frac{1}{6} h (B + b + 4M).$$

Шар.

$$S = 4 \pi r^2 = \pi \cdot d^2 = 3,1416 d^2;$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3 = 0,5236 d^3.$$

Шаровой сегмент.

$$S = 2\pi \cdot r b = \frac{1}{4} \pi (4b^2 + c^2); \quad V = \frac{1}{3} \pi b^2 (3r - b) = \frac{1}{24} \pi b (3c^2 + 4b^2).$$

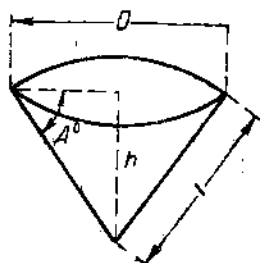
Применение формул.

Пояс резервуара:



$$S = \pi \cdot D \cdot h = C \cdot h.$$

Коническое дно:

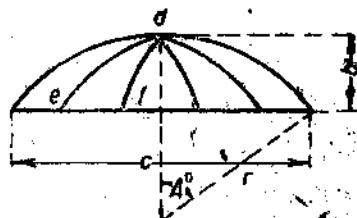
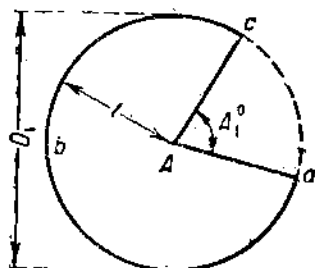


$$h = \frac{D}{2} \cdot \operatorname{tg} A^\circ;$$

$$l = \frac{D}{2 \cos A^\circ};$$

$$S = \frac{\pi D^2}{2}.$$

Развертка конического дна:



Сферическая крыша:

$$D_1 = 2l = \frac{D}{\cos A^\circ};$$

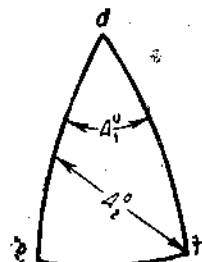
$$\operatorname{arc} abc : \pi D = 2 \pi l \cos A^\circ;$$

$$A_1^\circ = 360 \frac{D_1 - D}{D_1}.$$

$$S = 2\pi r b = \frac{1}{4} \pi (b^2 + c^2).$$

Развертка листов сферической крыши.

Число листов N:



$$\operatorname{arc} df = 0,01745 \cdot r \cdot A^\circ;$$

$$\operatorname{arc} dl = 0,01745 \cdot r \cdot A^\circ;$$

$$\operatorname{arc} lf = \frac{2 \pi \sqrt{2br - b^2}}{N}.$$

$$A_1^\circ = \frac{360^\circ}{N}; \quad A_2^\circ = S \frac{0,01745 r^2}{0,0349 r^2} (180 - A_1^\circ).$$

Поверхность одного листа:

$$S = \frac{2\pi r b}{N}; \quad 0,01745 (2 A_2^\circ + A_1^\circ - 180).$$

Библиография

«Металлические конструкции и сооружения, технические условия и нормы проектирования и возведения», 1931 г.

- К. Бах, Детали машин, их расчет и конструкция, т. I, 1930.
М. Н. Берлов, Детали машин, вып. 3, «Челка и сварка резервуаров и котлов», 1929.
E. Broschat, Der Behälterbau, Teil I, «Konstruktionselemente», 1926.
E. Kottenmeier, Der Stahlbehälterbau, 1930.
К. Бауи, Нефтехранение, 1923.
А. Н. Белл, Американские методы переработки нефти, 1925.
Day, A. Handbook of the Petroleum Industry.
Ketchum, Structural Engineer's Handbook.
Hool and Kinn, Steel and Timber Structures.
Th. Röschl, Berechnung von Behältern, 1926.
В. Г. Шухов, Механические сооружения нефтяной промышленности, «Инженер», 1883.
Его же, Расчет нефтяных резервуаров, «Нефтяное хозяйство» № 10, 1925.
С. П. Тимошенко, Курс сопротивления материалов, 1932.
К. Г. Грейнер, «Котельное дело», 1929.
«Организационник», т. II, 1926.
К. Керстен, Железные конструкции гражданских сооружений, 1931.
А. Грегор, Железные конструкции, т. I, 1930.
M. Förster, Eisenkonstruktionen des Ingenieurhochbaues, 1926.
И. С. Подольский, Пространственные фермы, 1931.
И. П. Прокофьев, Обработка, сборка и установка металлических мостов, 1931.
Е. О. Патов и Б. Н. Горбунов, Стальные мосты, т. I, 1930.
Н. С. Стрелецкий, Бурсы мостов, «Металлические мосты», ч. I, 1931.

«Сварные металлические конструкции», инструкции по применению электросварки в строительстве, 1931 г.

- А. С. Огнепедкий, Электрическая сварка металлов, 1931.
П. Шмилке и Г. Форд, Электрическая сварка, 1931.
И. Бардтке, Техника сварки, 1932.
Н. В. Бродонич и В. Я. Полюко, Автоматы для дуговой сварки металлическим электродом, 1931.
Ю. М. Кутузов, Практическое руководство по электросварке, 1930.
Г. Николаев, О применении электросварки в строительстве, «Дальстрой» № 2, 1930.
Т. Каутиц, Руководство для газосварщиков, 1931.
«Bautechnik», 1930, 1931, 1932.
«Der Stahlbau», 1930, 1931, 1932.
«Elektroschweißung», 1931, 1931, 1932.
«Аптечное дело», 1930, 1931, 1932.

Авторские исправления и опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
23	10 сверху	$S_{cm} = d k_{cm}$	$S_{cm} = d k_{cm}$
23	13 >	$S_{cm} = d k_{cm}$	$S_{cm} = d k_{cm}$
44	2 >	Значение	Значение с
50	2 >	Это положение, очевидно,	это положение очевидно,
188	1 снизу	$M = 0,044 PL$	$M_{max} = 0,044 PL$
188	13 сверху	$M = 0,084 P$	$M_{max} = 0,084 PL$
188	6 снизу	$tg \alpha = \frac{f}{L}$	$tg \alpha = \frac{f}{L}$
140	15 сверху	$K = \frac{34000}{36} \pm \frac{590}{11,0,57}$	$K = \frac{34000}{37} + \frac{590}{11,0,57}$
141		подпорками а	подпорками i
180	7 снизу	600 м ³	600 м ³
185	8 сверху	осматривается	осматривается
197	2 снизу	два	два
220	13 >	$s = \gamma \frac{ctg \alpha}{\sin \alpha} \cdot (h + y)$	$s = \gamma \frac{ctg \alpha}{\sin \alpha} \cdot y \cdot (h + y)$
265	24 сверху	$R \cos \alpha$	$R \cdot \cos \alpha$
268	13 >	2907,87	2970,87
268	14 >	595677	595477
285	20 снизу	52,844 см ³	52884
308	16 >	$\frac{P \cdot x^2}{P + x^2}$	$\frac{P \cdot x_1^2}{P + x_1^2}$
308	13 >	$\frac{l \cdot x^2}{P + x_1^2}$	$\frac{P \cdot x_1^2}{P + x_1^2}$
308	12 >	$k = \frac{3}{8} \cdot \gamma \left(x + x^2 + \frac{x_2^2}{2} \right) \cdot \frac{P \cdot x_2^2}{P + x_2^2}$	$k = \frac{3}{8} \cdot \gamma \left(x + x_1 + \frac{x_2}{2} \right) \cdot \frac{P \cdot x_2^2}{P + x_2^2}$
309	12 >	$X_1 = 0,140 \cdot 380 = 49$	$X_1 = 0,140 \cdot 350 = 49$
320	35 >	2827	8227
320	36 >	3467	2467
362	14 >	$s = P \cdot l$	$s = \frac{1}{2} Pl$
363	11 >	$s + 2\pi r b = \frac{1}{4} \pi (b^2 + c^2)$	$s + 2\pi r b = \frac{1}{4} \pi (4b^2 + c^2)$
363	12 >	подпись «Сферическая крыша» должна быть под правым рисунком.	