

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра авиатопливообеспечения
и ремонта летательных аппаратов

А.Н. Тимошенко, К.Э. Балышин, А.Н. Козлов

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЗК

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсового проекта
«Расчет молниезащиты резервуарного парка
топливозаправочного комплекса аэропорта»

*для студентов
направления 25.03.01
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2022

УДК 622.692.2:699.887.2

ББК 052-082

Т41

Рецензент:

Дмитревский А.Л. – канд. техн. наук

Тимошенко А.Н.

Т41

Промышленная безопасность ТЗК [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта «Расчет молниезащиты резервуарного парка топливозаправочного комплекса аэропорта» / А.Н. Тимошенко, К.Э. Балышин, А.Н. Козлов. – М.: ИД Академии Жуковского, 2022. – 36 с.

Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы издается в соответствии с рабочей программой по направлению подготовки 25.03.01 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», направленности подготовки «Управление техническими и технологическими процессами эксплуатации воздушных судов», дисциплине Б1.В.ДВ.М.2.7 «Промышленная безопасность топливозаправочных комплексов».

Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы преследует цель обеспечить связь теории и практики, выработать у студентов профессионально необходимые практические умения и навыки применения знаний, полученных при изучении дисциплины «Промышленная безопасность топливозаправочных комплексов» и содержит сведения по актуальным вопросам снижения риска возникновения техногенных катастроф, вызванных воздействием молний и статического электричества на сооружения и технические средства топливозаправочных комплексов.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 13.01.2022 г. и методического совета 24.01.2022 г.

УДК 622.692.2:699.887.2

ББК 052-082

В авторской редакции

Подписано в печать 13.07.2022 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 2,25 Усл. печ. л. 2,09

Заказ № 887/0603-УМП04 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА

125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского

125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Современные топливозаправочные комплексы аэропортов оснащены сложными инженерно-техническими сооружениями и технологическим оборудованием и сосредотачивают на компактных территориях большое количество авиационных горюче-смазочных материалов.

Авиатопливо относится к классам токсичных, горючих, пожароопасных, легковоспламеняющихся жидкостей. В силу этого топливозаправочные комплексы аэропортов (ТЗК) в соответствии с действующим законодательством отнесены к категории «опасных производственных объектов» (ОПО), на которые распространяются обязательные требования промышленной безопасности (ПБ).

Промышленное производство может вызвать техногенную катастрофу. Техногенные катастрофы имеют негативную общемировую тенденцию к росту их числа, масштабов, разрушительности, количеству жертв и пострадавших.

От состояния ПБ ОПО, их противоаварийной устойчивости зависит непосредственно жизнь и здоровье граждан, поддержание нормальных условий для жизнедеятельности, сохранение окружающей среды, социально-экономическое развитие Российской Федерации и национальная безопасность в целом.

Одной из основных причин возникновения техногенных катастроф в ТЗК является воздействие молний и статического электричества на сооружения и технические средства топливозаправочных комплексов

Возросшие требования к качеству эксплуатации топливозаправочных комплексов определяют и возросшие требования к эксплуатирующему персоналу, и предполагают высокий теоретический уровень специалистов, а также знаний современных технологий и приёмов, позволяющих добиваться максимальной эффективности, при минимальном риске нанести ущерб обслуживающему персоналу и экологии.

Главной задачей курсовой работы «Расчет молниезащиты резервуарного парка топливозаправочного комплекса аэропорта» является решение проблемы снижения риска возникновения техногенных катастроф, вызванных воздействием молний и статического электричества на сооружения и технические средства топливозаправочных комплексов.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1.1 Цель курсовой работы

Курсовая работа – это самостоятельная учебно-исследовательская письменная работа студента по узкоспециализированным или общенаучным направлениям, связанным с его будущей профессией.

Курсовая работа выполняется под руководством преподавателя.

Цель курсовой работы – обеспечить связь теории и практики, выработать у студентов профессионально необходимые практические умения и навыки применения знаний, полученных при изучении дисциплины.

Задачи курсовой работы:

- систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний по изучаемой дисциплине;

- детальное изучение одного из вопросов дисциплины;

- выработка навыка работы с научной литературой, изучения степени разработанности и освещенности избранной проблемы;

- выработка навыков самостоятельного научного исследования (сбора, обработки, анализа, интерпретации полученной информации, обнаружения закономерностей и тенденций развития явлений и процессов) для решения разрабатываемых в курсовой работе проблем и вопросов;

- выработка умения грамотно проиллюстрировать собранную и обобщенную информацию;

- выработка практических навыков применения теоретических знаний при решении конкретных научных и/или производственных задач;

- освоение приёмов поиска недостающей информации при самостоятельной работе;

- получение практических навыков проектирования, что потребуется как при разработке выпускной квалификационной работы, так и в дальнейшей работе;

- промежуточная аттестация студента.

Из цели и задач курсовой работы вытекает её место в иерархии письменных работ в вузе: требование к ней значительно более серьезные, чем к контрольной работе или рефератам и приближаются к требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам.

В результате выполнения курсовой работы студент должен знать нормативные документы по вопросам молниезащиты и защиты от статического электричества сооружений и технических средств топливозаправочных комплексов. Уметь правильно и обоснованно рассчитать для топливозаправочного комплекса аэропорта основные параметры молниезащиты резервуарного парка.

1.2 Содержание курсовой работы

Курсовая работа представляет собой проект небольшого формата, выполняемый силами одного студента, и содержит пояснительную записку и графическую часть в виде схем, отображающих в условном аэропорту принципиальную схему молниезащиты резервуарного парка.

Пояснительная записка курсовой работы должна состоять из аналитической и проектной частей.

В аналитической части пояснительной записки приводятся результаты проведенного студентом анализа интенсивности грозовой деятельности в географической зоне условного аэропорта и вероятного (ожидаемого) количества поражений наземных сооружений молнией, а также обоснование технического задания на проектируемую молниезащиту резервуарного парка.

1.3 Оформление курсовой работы

Порядок выполнения пояснительной записки отражен в методическом пособии «Методические указания по содержанию и оформлению курсовых работ, проектов, домашних заданий и пр. для студентов всех направлений подготовки и специальностей Механического факультета очной и заочной форм обучения по дисциплинам кафедры Авиатопливообеспечения и ремонта ЛА».

1.4 Задание на курсовую работу

Задание на курсовую работу выдаётся преподавателем. Задание заполняется студентами на стандартном бланке и должно быть утверждено преподавателем с указанием даты выдачи задания и срока окончания работы. Задание содержит тему работы, варианты заданий, материал для самоподготовки.

Курсовая работа без подписанного задания на проверку не принимаются.

1.5 Защита курсовой работы

Защита курсовой работы – форма текущего контроля успеваемости студентов.

Защита курсовой работы осуществляется студентами перед специальной комиссией, создаваемой в соответствии с распоряжением заведующего кафедрой, с участием руководителя курсовой работы. Защита курсовой работы проводится, как правило, в конце семестра, после выполнения и защиты по практическим занятиям и лабораторным работам. Выполненная курсовая работа сдается преподавателю накануне дня защиты для проверки. В случае ошибок в расчетах или некачественных выводов, курсовая работа возвращается для устранения недостатков.

По результатам проверки и защиты курсовая работа оценивается по следующим критериям:

- соответствие объема и содержания работы разработанному техническому заданию;
- оформление принципиальной схемы молниезащиты резервуарного парка топливозаправочного комплекса аэропорта;
- правильность ответов на вопросы;
- своевременность выполнения и защиты курсовой работы.

При выведении оценки комиссия руководствуется следующим общими критериями.

Оценка «**отлично**» выставляется при следующих условиях:

- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы;
- показано умение грамотно применять полученные теоретические знания в практических целях;
- показано глубокое и творческое овладение основной и дополнительной литературой;
- ответы отличаются четкостью, мысли излагаются в необходимой логической последовательности.

Оценка «**хорошо**» выставляется при следующих условиях:

- даны полные, но недостаточно обоснованные ответы на вопросы;
- показано умение применять полученные теоретические знания в практических целях;
- показаны глубокие знания основной и недостаточное знакомство с дополнительной литературой;
- ответы в основном были четкими, но в них не всегда выдерживалась логическая последовательность.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется при следующих условиях:

- даны в основном правильные ответы на все вопросы, но без должной глубины и обоснования;
- допущены отдельные ошибки в расчете, не приведшие к большим отклонениям от правильного ответа;
- показаны недостаточные знания основной литературы;
- ответы были многословными, мысли излагались недостаточно четко и без должной логической последовательности.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется в случаях, когда не выполнены условия, позволяющие поставить оценку «удовлетворительно».

Типовые контрольные вопросы:

1. Каково назначение молниезащиты?
2. Каковы принципы работы системы молниезащиты?
3. Назовите применяемые виды конструкций молниеотводов?
4. Можно ли молниеотводы устанавливать на резервуарах?
5. В каких случаях допускается устанавливать молниеотводы на

резервуарах?

6. Обеспечивает ли молниезащита гарантированную защиту от разрядов молний?

7. Каким образом обеспечивается защита от вторичных проявлений молнии?

8. Каким образом выполняется соединение молниеприемников с токоотводами и токоотводов с заземлителями?

9. С какой периодичностью заземлители и токоотводы подвергаются периодическому контролю?

10. Что проверяется при техническом обслуживании молниеотводов?

11. Какое количество заземлителей и токоотводов подлежит ежегодному вскрытию и проверке?

12. Каково максимально допустимое значение переходного сопротивления болтовых соединений токоотводов?

13. Каково должно быть сечение стальных соединителей резервуаров и трубопроводов с заземлителями?

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Общие положения

Непосредственное опасное воздействие разряда статического электричества или удара молнии – это пожары, выделение опасных продуктов, взрывы, повреждения зданий, сооружений, оборудования, травмы людей.

Сооружения, которые могут принять на себя удар молнии, классифицируют на две группы – обычные и специальные объекты.

Обычные объекты – жилые и административные строения, а также здания и сооружения, высотой не более 60 м.

Специальные объекты:

– объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения;

– объекты, представляющие опасность для социальной и физической окружающей среды (объекты, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы);

– прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита, например, строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты.

В соответствии с этой классификацией топливозаправочные комплексы (ТЗК) аэропортов относятся к категории «специальные объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения».

Применение молниезащиты существенно снижает риск ущерба от удара молнии. Поэтому применение молниезащиты и защиты от статического электричества в ТЗК является обязательным.

Используемые средства и методы молниезащиты выбираются исходя из условия обеспечения требуемой надежности.

При нормировании молниезащиты за исходное принято положение, что любое ее устройство не может предотвратить развитие молнии.

2.2 Термины и определения

1. Молниезащита (молниезащитная система – МЗС) – система устройств, позволяющая защитить здание или сооружение от воздействий молнии.

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты:

– от прямых ударов молнии (внешняя МЗС);

– от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС).

В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства. В общем случае часть токов молнии протекает по элементам внутренней молниезащиты.

Внешняя МЗС может быть изолирована от сооружения (отдельно

стоящие молниеотводы – стержневые или тросовые, а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов), или может быть установлена на защищаемом сооружении и даже быть его частью.

Внутренние устройства молниезащиты предназначены для ограничения электромагнитных воздействий тока молнии и предотвращения искрений внутри защищаемого объекта.

2. Молниеотвод – устройство для защиты объекта от прямых ударов молнии, воспринимающее удар молнии и отводящее ее ток в землю.

В общем случае молниеотвод состоит из:

- а) опоры;
- б) молниеприемника, непосредственно воспринимающего удар молнии;
- в) токоотвода (спуска), по которому ток молнии отводится от молниеприемника к заземлителю (в землю);
- г) заземляющего устройства – обеспечивающего растекание тока молнии в земле; заземляющее устройство представляет собой совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

В некоторых случаях функции опоры, молниеприемника и токоотвода совмещаются, например при использовании в качестве молниеотвода металлических труб или ферм.

3. Заземлитель молниезащиты – один или несколько заглубленных в землю проводников, предназначенных для отвода в землю токов молнии или ограничения перенапряжений, возникающих на металлических корпусах, оборудовании, коммуникациях при близких разрядах молнии. Заземлители делятся на естественные и искусственные. Естественные заземлители – заглубленные в землю металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений. Искусственные заземлители – специально проложенные в земле контуры из полосовой или круглой стали; сосредоточенные конструкции, состоящие из вертикальных и горизонтальных проводников.

4. Конструктивное исполнение молниеотвода – молниеотводы разделяются на следующие виды:

- а) стержневые – с вертикальным расположением молниеприемника;
- б) тросовые (протяженные) – с горизонтальным расположением молниеприемника, закрепленного на двух заземленных опорах;
- в) сетки – многократные горизонтальные молниеприемники, пересекающиеся под прямым углом и укладываемые на защищаемого объекта.

5. Отдельно стоящий молниеотвод – молниеотвод, молниеприемники и токоотводы которого расположены таким образом, чтобы путь тока молнии не имел контакта с защищаемым объектом. Их опоры установлены на земле на некотором удалении от защищаемого объекта.

6. Одиночный молниеотвод – это единичная конструкция стержневого или тросового молниеотвода.

7. Двойной (многократный) молниеотвод – это два (или более) стержневых или тросовых молниеотвода, образующих общую зону защиты.

8. Зона защиты молниеотвода – пространство в окрестности молниеотвода, внутри которого вероятность прямого удара молнии в защищаемый объект, не превышает заданной величины. Зона защиты типа А обладает надежностью 99,5% и выше, а типа Б — 95 % и выше.

2.3 Принятые сокращения

ПУМ – прямые удары молнии;
РВС – резервуар вертикальный стальной;
РВСП – резервуар вертикальный со стационарной крышей с понтоном;
РВСПК – резервуар вертикальный с плавающей однодечной крышей;
ГО – газовая обвязка;
УЛФ – установка улавливания лёгких фракций;

3. ПРАВИЛА УСТАНОВКИ МОЛНИЕОТВОДОВ И ПАРАМЕТРЫ РЕЗЕРВУАРОВ

3.1. Основные параметры установки молниеотвода

Выбор месторасположения и параметров молниеотводов осуществляется согласно документу СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» [2].

Выбор типа и высоты молниеотводов производится исходя из значений требуемой надежности R_3 . Объект считается защищенным, если совокупность всех его молниеотводов обеспечивает надежность защиты не менее R_3 .

Во всех случаях система защиты от прямых ударов молнии выбирается так, чтобы максимально использовались естественные молниеотводы, а если обеспечиваемая ими защищенность недостаточна – в комбинации со специально установленными молниеотводами.

В общем случае выбор молниеотводов должен производиться при помощи соответствующих компьютерных программ, способных вычислять зоны защиты или вероятность прорыва молнии в объект (группу объектов) любой конфигурации при произвольном расположении практически любого числа молниеотводов различных типов.

При прочих равных условиях высоту молниеотводов можно снизить, если вместо стержневых конструкций применять тросовые, особенно при их подвеске по внешнему периметру объекта. Однако, для молниезащиты резервуаров тросовые молниеотводы не применяются. Тросовая молниезащита была установлена на вышеупомянутой нефтебазе «Конда».

Определим требуемую надежность молниеотвода для резервуара с нефтепродуктами [2].

Резервуар с нефтепродуктами относится к графе «Специальный, представляющий опасность для непосредственного окружения». В таблице 1 выделен жирным шрифтом.

Таблица 1. Спецификация объектов.

Объект	Тип объекта	Последствия удара молнии
Обычный	Жилой дом	Отказ электроустановок, пожар и повреждение имущества. Обычно небольшое повреждение предметов, расположенных в месте удара молнии или задетых ее каналом
	Ферма	Первоначально - пожар и занос опасного напряжения, затем - потеря электропитания с риском гибели животных из-за отказа электронной системы управления вентиляцией, подачи корма и т. д.
	Театр; школа; универмаг; спортивное сооружение	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий
	Банк; страховая компания; коммерческий офис	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбоя компьютеров с потерей данных

	Больница; детский сад, дом для престарелых	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбои компьютеров с потерей данных. Необходимость помощи тяжелобольным и неподвижным людям
	Промышленные предприятия	Дополнительные последствия, зависящие от условий производства - от незначительных повреждений до больших ущербов из-за потерь продукции
	Музеи и археологические памятники	Невосполнимая потеря культурных ценностей
Специальный с ограниченной опасностью	Средства связи; электростанции; пожароопасные производства	Недопустимое нарушение коммунального обслуживания (телекоммуникаций). Косвенная опасность пожара для соседних объектов
Специальный, представляющий опасность для непосредственного окружения	Нефтеперерабатывающие предприятия; заправочные станции; производства петард и фейерверков	Пожары и взрывы внутри объекта и в непосредственной близости
Специальный, опасный для экологии	Химический завод; атомная электростанция; биохимические фабрики и лаборатории	Пожар и нарушение работы оборудования с вредными последствиями для окружающей среды

Для специальных объектов минимально допустимый уровень надежности защиты от прямых ударов молнии (ПУМ) устанавливается в пределах 0,9-0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от ПУМ по согласованию с органами государственного контроля. [2]

Для резервуара с нефтепродуктами назначим уровень надежности защиты 0,99.

3.2. Определение типа и параметров защищаемого объекта

Тип и параметры защищаемого объекта определим с помощью ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов» [3]. Данный стандарт устанавливает требования к проектированию, изготовлению, монтажу и испытанию вертикальных цилиндрических стальных резервуаров номинальным объемом от 100 до 120000 м³, используемых при добыче, транспортировании, переработке и хранении нефти и нефтепродуктов. Соответственно, в нем содержатся необходимые для расчета сведения о конструктивных размерах резервуаров разных типов.

3.3. Выбор типа резервуара

В Таблице 2 указано, какие типы резервуаров можно использовать для различных хранимых продуктов. На Рисунке 1 указаны внешний вид и элементы резервуаров различных типов.

Типы резервуаров:

- ✓ РВС - резервуар вертикальный со стационарной крышей без понтона;
- ✓ ГРС

Таблица 2 - Типы резервуаров для хранения нефтепродуктов

Наименование хранимых продуктов	Типы резервуаров				
	РВСПК	РВСП	РВС		
			ГО	УЛФ	Без ГО и УЛФ
Нефть	+	+	+	+	-
Бензины автомобильные	+	+	+	+	-

Согласно Таблице 2, для хранения нефти могут использоваться РВС (с газовой обвязкой или установкой улавливания лёгких фракций), РВСП или РВСПК.

Дыхательная арматура резервуаров с ЛВЖ и пространство над ней ограниченное цилиндром высотой 2,5 м и радиусом 5 м, должны быть защищены от прямых ударов молнии.

3.4. Стандартизированные размеры РВС

Размеры РВС по ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов» [3]

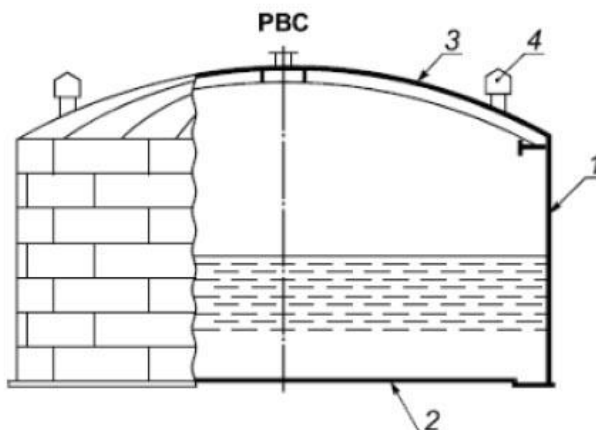


Рис. 1. Общий вид резервуара.

1 — стенка. 2 — днище. 3 — стационарная крыша: 4 — дыхательный клапан

Таблица 3. Типовые размеры резервуаров.

Номинальный объем V , м ³	Тип резервуара РВС	
	Внутренний диаметр D , м	Высота стенки H , м
100	4,73	6,0
200	6,63	7,5
300	7,58	
400	8,53	
700	10,43	9,0
1000		12,0
2000	15,18	15,0
3000	18,98	
5000	22,8	
	20,92	

3.5. Подбор крыши РВС и её параметров

3.5.1. Стационарные крыши

1. Коническая оболочка

Стационарные крыши резервуаров объемом от 100 м³ до 100 м³ могут выполняться в виде гладких конических оболочек с углом конусности от 15° до 30°.

При толщине оболочки резервуара до 7 мм крыша изготавливается на заводе в виде рулонизируемого полотнища. При толщине оболочки свыше 7 мм полотнище крыши собирается и сваривается двусторонними стыковыми швами на монтаже (с кантовкой полотнища).

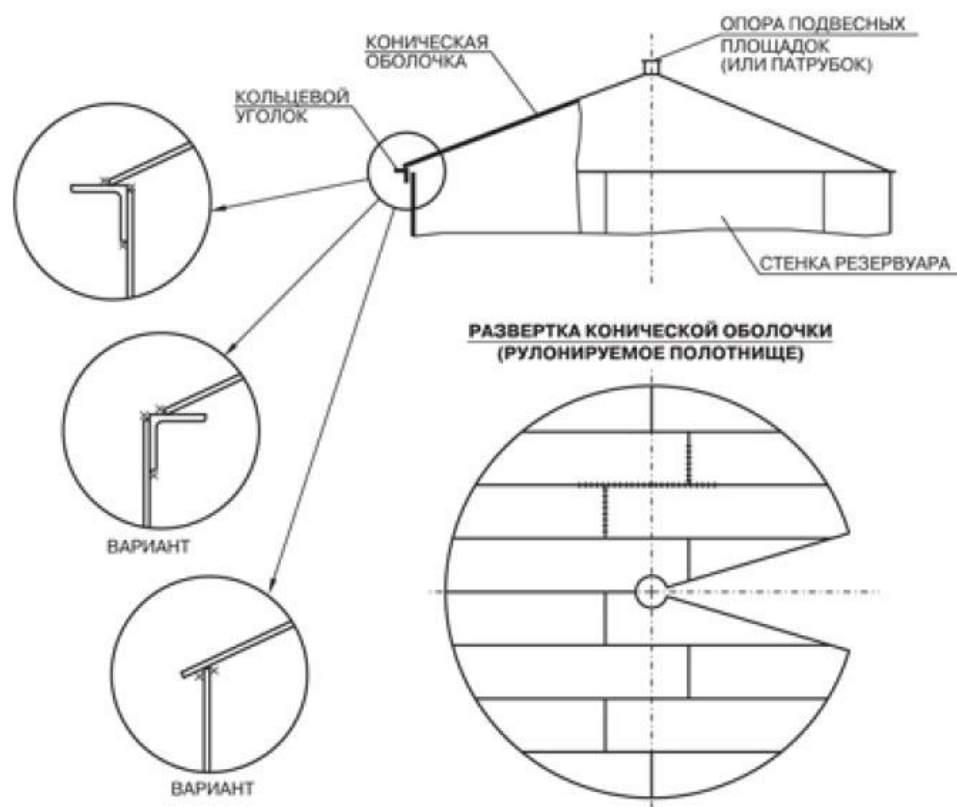


Рис.2. Коническая бескаркасная крыша

2. Сферическая оболочка

Стационарные крыши в виде гладких сферических оболочек могут эффективно применяться для резервуаров объемом от 1000 м³ до 5000 м³ при толщине оболочки от 6 мм до 10 мм и отсутствии несущих элементов каркаса.

Сферические оболочки состоят из сваренных на заводе лепестков двойной кривизны, собираемых на специальном кондукторе из вальцованных деталей.

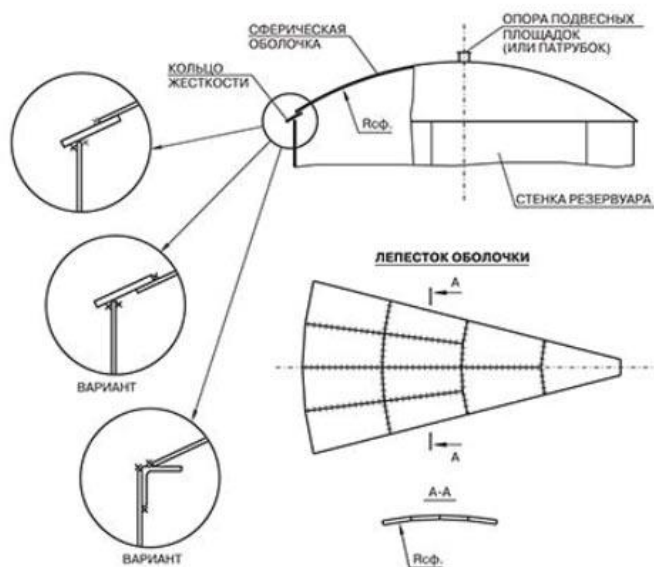


Рис. 3. Сферическая бескаркасная крыша

3. Конические каркасные крыши

Конические каркасные крыши применяются для резервуаров объемом от 1000 м³ до 5000 м³.

Крыши состоят из изготовленных на заводе секторных каркасов, кольцевых элементов каркаса, центрального щита и рулонизируемых полотнищ настила. Монтаж каркасов выполняется по мере разворачивания рулона стенки аналогично монтажу традиционных щитовых крыш.

После соединения каркасов между собой кольцевыми элементами на них укладываются полотнища настила, предварительно развернутые рядом с дном резервуара. Полотнища свариваются между собой радиальными швами и припаиваются по периметру к упорному углу стенки. Крепление полотнищ к элементам каркаса не допускается.

Проектирование каркасных крыш осуществляется во взрывозащищенном исполнении таким образом, что при аварийном превышении давления внутри резервуара, например, при взрыве или в результате нагрева от пожара соседнего резервуара, происходит отрыв сварного шва приварки настила к стене без разрушения самого резервуара и без отрыва стенки от дна.

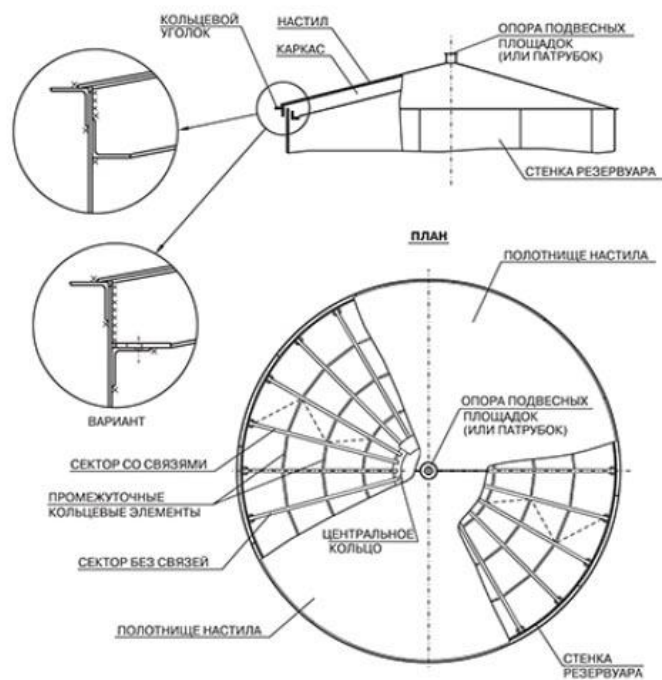


Рис. 4. Коническая каркасная крыша

4. Сферические каркасные крыши

Сферические каркасные крыши применяются для резервуаров объемом свыше 5000 м³.

Крыши состоят из вальцованных радиальных балок, основных и промежуточных, кольцевых элементов каркаса, центрального щита и листов настила, свободно опирающихся на элементы каркаса. По периметру стенки имеется кольцо жесткости, воспринимающее распорные усилия купола и обеспечивающее фиксацию и неизменяемость формы стенки при монтаже.

Требования по взрывозащищенности сферических крыш аналогичны требованиям к коническим каркасным крышам.

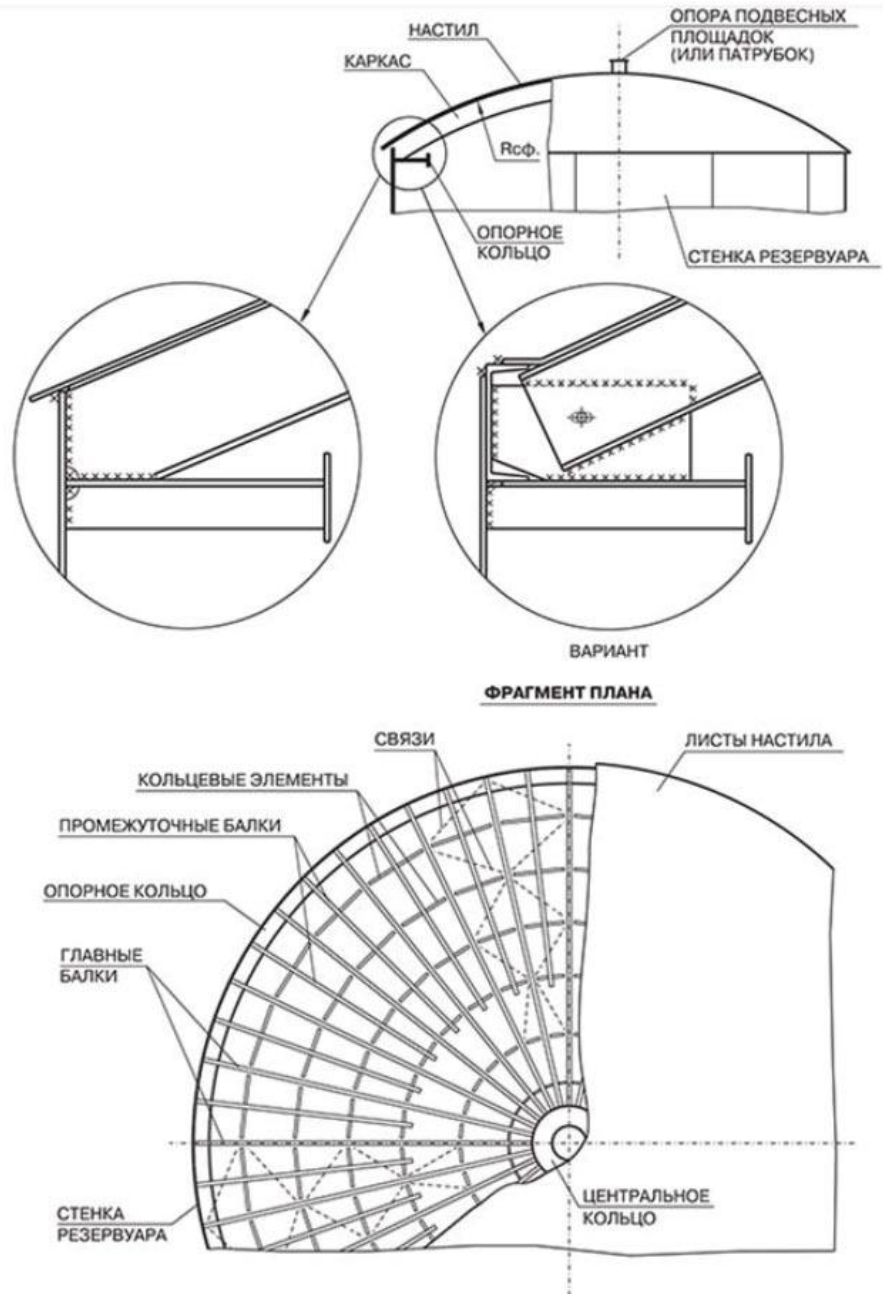


Рис.5. Сферическая каркасная крыша

5. Понтоны

Понтоны применяются для резервуаров со стационарными крышами и предназначены для сокращения потерь нефти и нефтепродуктов от испарения.

Однодечный понтон может быть рулонного или щитового исполнения.

Рулонизируемые однодечные понтоны — это центральная однослойная мембрана (или дека) и кольцевые короба по периметру представлен на рис. 6.

Щитовые однодечные понтоны — это комплект прямоугольных коробов, которые скрепляются вместе уже внутри резервуара при помощи листового настила представлен на рис. 7.

Сборка внахлест обеспечивает их герметичность. Последний тип традиционно устанавливается в емкости большого объема от 5000 м³.

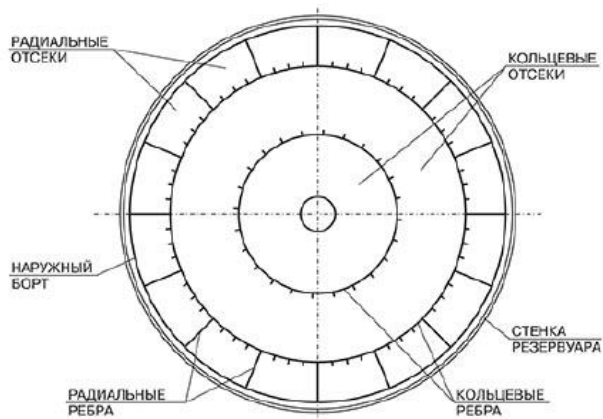


Рис. 6. Однодечный рулонный понтон

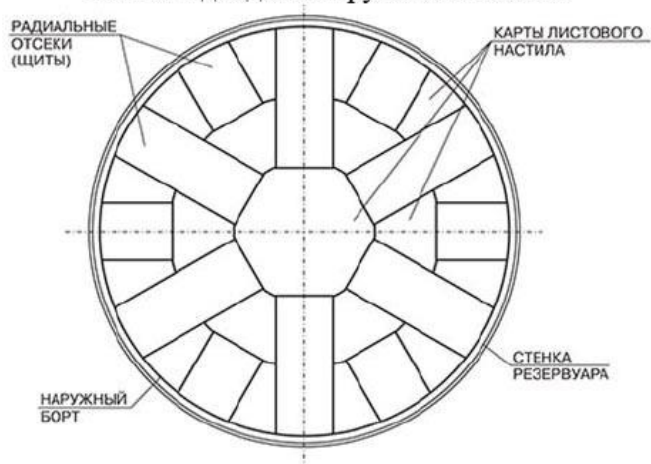


Рис. 7. Однодечный щитовой понтон

3.6. Определение параметров обвалования выбранного резервуара

Необходимо определить параметры обвалования для того, чтобы расположить элементы молниезащиты вне зоны между резервуаром и обвалованием.

Параметры обвалования определим исходя из ГОСТ Р 53324–2009 «Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности» [4]:

«По периметру отдельно стоящего резервуара или каждой группы наземных резервуаров необходимо предусматривать замкнутое ограждение.

Ширина обвалования должна быть по верху не менее 0,5 м.

За расчетный объем разлившейся жидкости следует принимать объем наибольшего резервуара в группе или отдельно стоящего резервуара.

Высота ограждения должна быть не менее чем на 0,2 м выше уровня расчетного объема разлившейся жидкости, но не менее:

- 1 м - для резервуаров номинальным объемом до 10000 м³;

- 1,5 м - для резервуаров номинальным объемом 10000 м³ и более.

Расстояние от стенок резервуаров до подошвы внутренних откосов обвалования или до ограждающих стен следует принимать не менее:

- 3 м - для резервуаров номинальным объемом до 10000 м³;

- 6 м - для резервуаров номинальным объемом 10000 м³ и более»

Из вышеперечисленных положений и номинального объема выбранного для расчета резервуара ($V = 10000 \text{ м}^3$) следует, что минимальная высота обвалования равна 1,5 м ($h_{об\ min} = 1,5 \text{ м}$), а минимальное расстояние от стенок резервуара до подошвы внутренних откосов обвалования равно $L = 6 \text{ м}$. При этом учитываем, что высота ограждения должна быть не менее чем на 0,2 м выше уровня расчетного объема разлившейся жидкости.

Найдем параметры L и $h_{об}$ такие, чтобы вся жидкость из резервуара умещалась в объеме, заключенном между резервуаром и обвалованием.

Методом подбора выбрали следующие значения этих параметров: $L=18,5 \text{ м}$ и $h_{об} = 4 \text{ м}$ (подходящее расчетное значение $h_{об} = 3,8 \text{ м}$, по указанию [4] добавлено еще 0,2 м). Проверим полученные значения, рассчитав объем пространства между обвалованием (с полученными параметрами) и резервуаром и сравнив его с номинальным объемом резервуара 10000 м³:

$$\pi \times \left(\left(\frac{D}{2} - L \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right) \times h_{об} = \pi \times \left(\left(\frac{28,5}{2} - 18,5 \right)^2 - \left(\frac{28,5}{2} \right)^2 \right) \times 4 = 10374 \text{ м}^3$$

→ 10000 м³ → расчетные значения параметров обвалования подходят согласно [3], окончательно принимаем следующие параметры обвалования:

$$L=18,5 \text{ м и } h_{об} = 4 \text{ м.}$$

Также примем ширину обвалования равной $b=0,5 \text{ м}$ (согласно [4]).

Сводная таблица параметров и схема выбранного для расчета резервуара и обвалования

Таблица 4 – Сводная таблица параметров резервуара и обвалования

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Номинальный объем	V	10000 м ³
Высота резервуара	H	18 м
Внутренний диаметр резервуара	D	28,5 м
Радиус сферической поверхности крыши	$r_{сф}$	28,5 м
Высота крыши резервуара	$h_{кр}$	3,82 м
Высота обвалования	$h_{об}$	4 м
Расстояние от стенок резервуара до подошвы внутренних откосов обвалования	L	18,5 м
Ширина обвалования	b	0,5 м

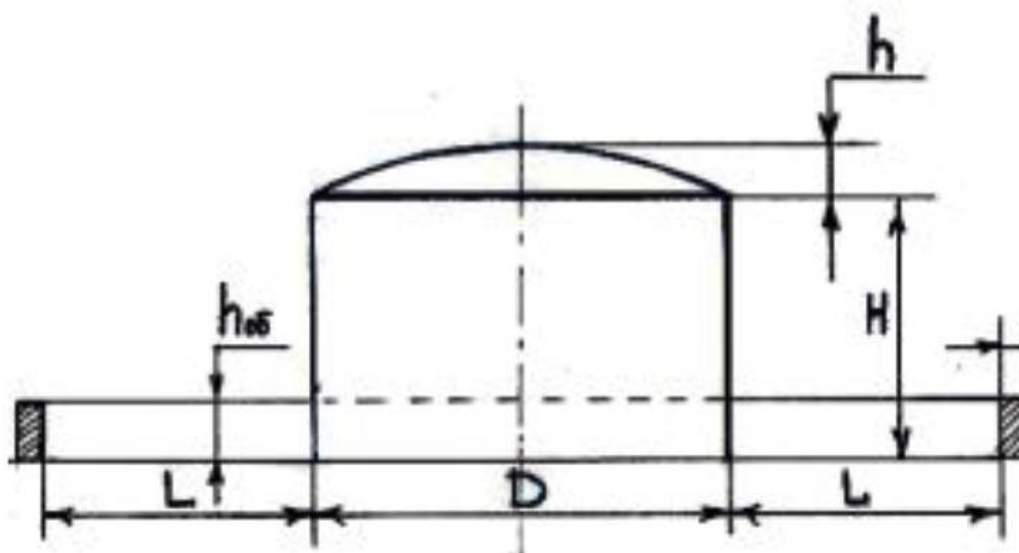


Рис. 8 – Схема резервуара и обвалования с указанием размеров

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЛНИЕЗАЩИТЫ И ОБВАЛОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРА

4.1. Определение типа резервуара

По данным ГОСТ для хранения нефти могут использоваться РВС (с газовой обвязкой или установкой улавливания лёгких фракций), РВСП или РВСПК.

Выберем для расчета резервуар вертикальный со стационарной крышей (РВС).

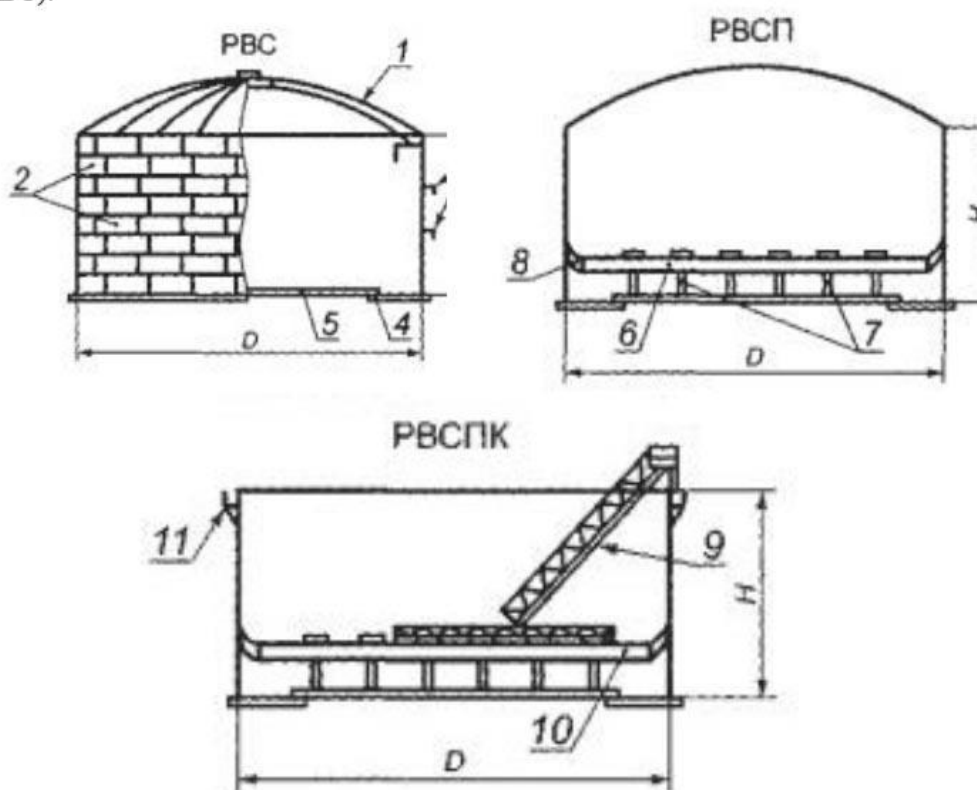


Рис. 8. Типы резервуаров

1 - каркас крыши; 2 - пояса стенки; 3 - промежуточные кольца жесткости; 4 - кольцо окраек; 5 - центральная часть днища; 6 - понтон; 7 - опорные стойки; 8 - уплотняющий затвор; 9 - катуная лестница; 10 - плавающая крыша; 11 - верхнее кольцо жесткости (площадка обслуживания)

4.2. Выбор объема резервуара и определение высоты его стенки и внутреннего диаметра

Выбор конкретного резервуара производится по Таблице 5. Для выбранного номинального объема резервуара каждого типа в Таблице 5 указаны также высота стенки резервуара и его внутренний диаметр.

Таблица 5. Размеры резервуаров

Номинальный объем V , м ³	Тип резервуара				
	РВС, РВСП		РВСПК		
	Внутренний диаметр D , м	Высота стенки H , м	Внутренний диаметр D , м	Высота стенки H , м	
100	4,73	6,0	-	-	
200	6,63				
300	7,58	7,5			
400	8,53				
700	10,43	9,0			
1000					
1000	10,43	12,0	12,33	9,0	
2000	15,18		15,18	12,0	
3000	18,98		18,98		
5000	22,8		22,8		
	20,92		15,0		
10000	28,5		18,0	28,5	18,0
	34,2	12,0	34,2	12,0	
20000	39,9	18,0	39,9	18,0	
	47,4	12,0			
30000	45,6	18,0	45,6	18,0	
40000	56,9		56,9		
50000	60,7		60,7		

Выберем для расчета резервуар вертикальный со стационарной крышей с понтоном (РВСП), номинальный объем которого равен 10000м³, высота 18 м, а внутренний диаметр 28,5 м ($V=10000$ м³, $H=18$ м, $D=28,5$ м).

4.3. Расчет толщины стенки резервуара

Толщину стенки резервуара определим по Таблице 6 исходя из внутреннего диаметра резервуара.

Таблица 6 – Минимальная конструктивная толщина стенки

Внутренний диаметр резервуара, м	Минимальная конструктивная толщина стенки, мм
Не более 16 включ.	5
От 16 до 25 включ.	6
От 25 до 40 включ.	8
От 40 до 65 включ.	10
Свыше 65	12

Толщину стенки выбранного резервуара примем равной 8 мм ($a=0,008$ м), но, так как толщина стенки пренебрежительно мала по отношению к диаметру

резервуара ($D = 28,5$), в расчете молниезащиты толщину стенки учитывать не будем.

4.4. Расчет высоты крыши резервуара

Бескаркасные конические крыши рекомендуется применять для резервуаров диаметром не более 12,5 м; бескаркасные сферические крыши - для резервуаров диаметром не более 25 м.

Каркасные конические крыши рекомендуются для резервуаров диаметром от 10 до 25 м; каркасные сферические крыши - для резервуаров диаметром от 25 м и более».

Исходя из этих требований стандарта, выберем каркасную сферическую крышу.

Высоту каркасной сферической крыши также определим исходя из [3]:

Геометрические параметры каркасной сферической крыши должны соответствовать следующим требованиям:

- минимальный радиус сферической поверхности должен составлять 0,8 внутреннего диаметра резервуара;

- максимальный радиус сферической поверхности должен составлять 1,5 внутренних диаметра резервуара. Каркас сферической крыши следует выполнять ребристым, ребристо-кольцевым или сетчатым».

Примем радиус сферической поверхности равным внутреннему диаметру резервуара ($r_{сф}=D=28,5$ м).

Высоту крыши $h_{кр}$ рассчитаем с помощью формулы для шарового сегмента, которая связывает радиус шара $r_{сф}$, радиус основания сегмента $D/2$ (он равен радиусу резервуара) и высоту сегмента $h_{кр}$ по формулам 1,2,3:

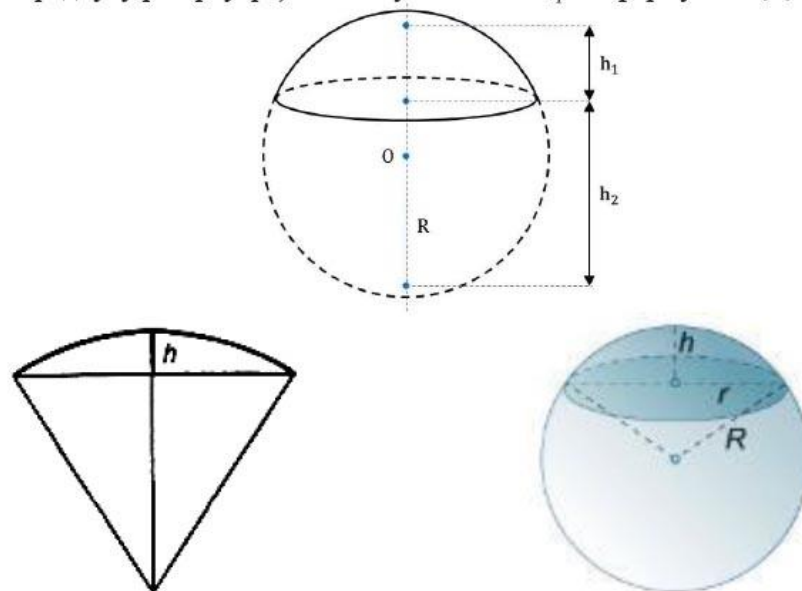


Рис. 9. Пример расчета для шарового сегмента

$$r_{\text{сф}} = \frac{(D/2)^2 + h_{\text{кр}}^2}{2h_{\text{кр}}} \quad (1)$$

$$h_{\text{кр}}^2 - 2r_{\text{сф}} \times h_{\text{кр}} + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 0 \quad (2)$$

$$h^2 - 57 \times h_{\text{кр}} + 203 = 0 \quad (3)$$

$$\begin{cases} h_{\text{кр}1} = 3,82 \text{ м} \\ h_{\text{кр}2} = 53,183 \text{ м} \end{cases} \rightarrow \text{высота крыши равна } 3,82 \text{ м} (h_{\text{кр}} = 3,82 \text{ м}).$$

4.5 Зоны защиты молниеотводов

Количественно защитное действие молниеотвода определяется через вероятность прорыва – отношение числа ударов молнии в защищенный объект (числа прорывов) к общему числу ударов в молниеотвод и объект.

Невозможно создать идеальную защиту от прямых ударов молнии, полностью исключающую прорывы на защищаемый объект. Однако на практике осуществимо взаимное расположение объекта и молниеотвода, обеспечивающее низкую вероятность прорыва, например 0,1 и 0,01, что соответствует уменьшению числа поражений объекта примерно в 10 и 100 раз по сравнению с незащищенным объектом. Для большинства современных объектов при таких уровнях защиты обеспечивается малое количество прорывов за весь срок их службы.

Пример

Для производственного здания высотой 20 м и размерами в плане 100 x 100 м, расположенного в местности с продолжительностью гроз 40–60 ч в год, защищенного молниеотводами с вероятностью прорыва 0,1, можно ожидать не более одного прорыва за 50 лет. При этом не все прорывы в равной степени опасны для защищаемого объекта, например воспламенения возможны при больших токах или переносимых зарядах, которые встречаются не в каждом разряде молнии. Следовательно, на данный объект можно ожидать одно опасное воздействие за срок, заведомо превышающий 50 лет или для большинства промышленных объектов II и III категорий не более одного опасного воздействия за все время их существования. При вероятности прорыва 0,01 в то же здание можно ожидать не более одного прорыва за 500 лет – период, намного превышающий срок службы любого промышленного объекта. Такой высокий уровень защиты оправдан только для объектов I категории, представляющих постоянную угрозу взрыва.

4.6. РАСЧЕТ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ МОЛНИЕОТВОДА

4.6.1. Определение расположения молниеотводов разных типов относительно резервуара и расчеты их зон защиты

Одиночный стержневой молниеотвод: Методика

Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h является круговой конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода (Рис. 10). Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0 .

Приведенные ниже расчетные формулы (Таблица 6) пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. При более высоких молниеотводах следует пользоваться специальной методикой расчета.

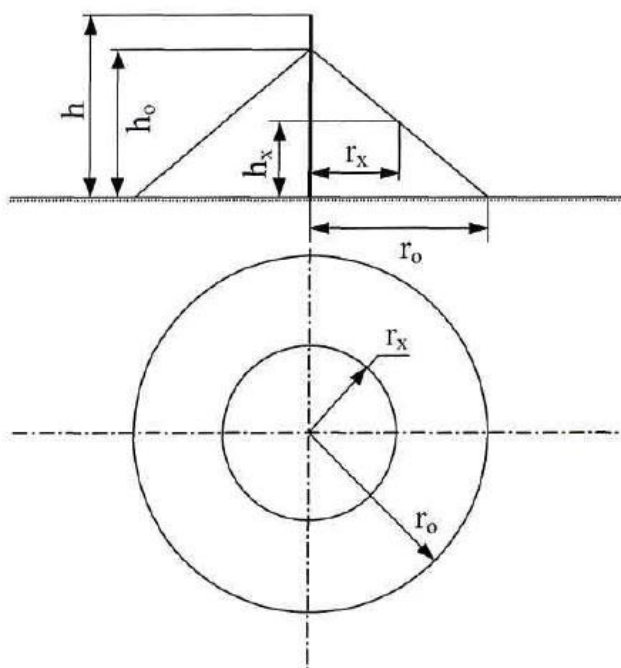


Рис. 10 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода:

- 1 – граница зоны защиты на уровне h_x ;
- 2 – граница зоны защиты на уровне земли.

Для зоны защиты требуемой надежности радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x определяется по формуле (4):

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} \quad (4)$$

Таблица 7 – Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Надежность защиты P_3	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	От 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	От 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$
0,99	От 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	От 30 до 100	$0,8h$	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h-100)]h$	$0,7h$
0,999	От 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	От 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3}(h-100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$

Расположим стержневой молниеотвод на расстоянии 2 метров ($l = 2$ м) от обвалования (за его пределами). Методом подбора выбрана наименьшая подходящая высота молниеотвода $m=100$ м, надежность защиты $P_3=0,99$.

Определим высоту конуса h_0 :

$$h_0 = [0,8 - 10^{-3} \times (h - 100)] \times h = [0,8 - 10^{-3} \times (100 - 100)] \times 100 = 80 \text{ м} \quad (5)$$

Определим радиус конуса r_0 :

$$r_0 = 0,7 \times h = 0,7 \times 100 = 70 \text{ м} \quad (6)$$

Определим радиусы горизонтальных сечений зоны защиты r_{x1} , r_{x2} и r_{x3} на высотах h_{x1} , h_{x2} и h_{x3} соответственно и сравним полученные радиусы с параметрами объекта на данной высоте (r_{x1} , r_{x2} и r_{x3}). Если объект не выходит за рамки зоны защиты, значит, высота стержневого молниеотвода подобрана правильно.

$$1. h_{x1} = h_{об} = 4 \text{ м}$$

$$r_1 = l + 2 \times b + 2 \times L + D = 2 + 2 \times 0,5 + 2 \times 18,5 + 28,5 = 68,5 \text{ м} \quad (7);$$

$$r_{x1} = \frac{r_0 \times (h_0 - h_{x1})}{h_0} = \frac{70 \times (80 - 4)}{80} = 69,6 \text{ м}; \quad (8);$$

$r_{x1} > r_1 \rightarrow$ на высоте $h_{x1} = 4$ м, объект полностью защищен.

$$2. h_{x2} = H = 18 \text{ м}$$

$$r_2 = l + b + L + D = 2 + 0,5 + 18,5 + 28,5 = 49,5 \text{ м}; \quad (9);$$

$$r_{x2} = \frac{r_0 \times (h_0 - h_{x2})}{h_0} = \frac{70 \cdot (80 - 18)}{80} = 54,3 \text{ м}; \quad (10);$$

$r_{x2} > r_2 \rightarrow$ на высоте $h_{x2} = 18$ м, объект полностью защищен.

$$3. \ h_{x2} = H + h = 18 + 3,82 = 21,82 \text{ м};$$

$$r_3 = l + b + L + 0,5 \times D = 2 + 0,5 + 18,5 + 0,5 \cdot 28,5 = 35,3 \text{ м}; \quad (11)$$

$$r_{x3} = \frac{r_0 \times (h_0 - h_{x3})}{h_0} = \frac{70 \cdot (80 - 21,82)}{80} = 50,9 \text{ м}; \quad (12)$$

$r_{x3} > r_3 \rightarrow$ на высоте $h_{x3} = 21,28$ м, объект полностью защищен.

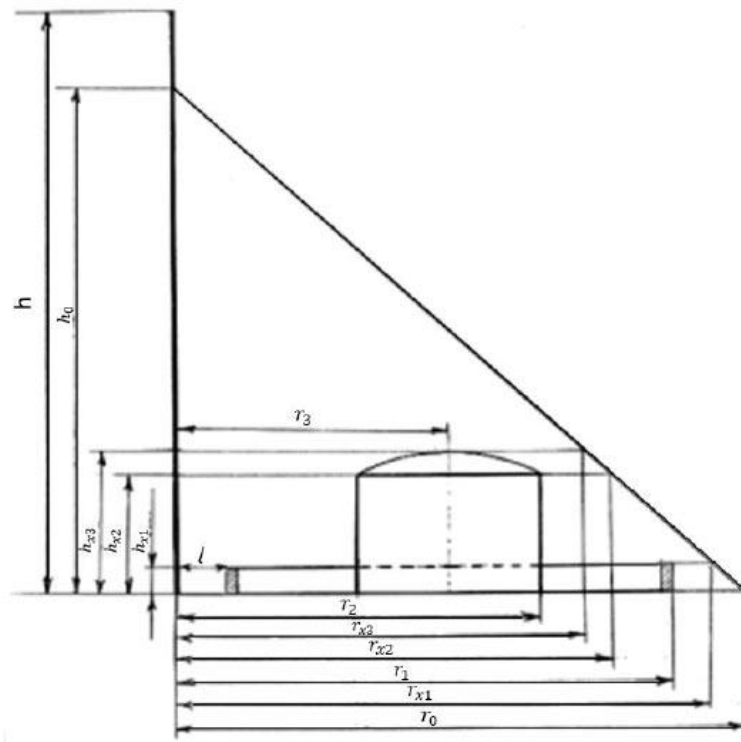


Рис. 11 - Расположение одиночного стержневого молниеотвода

Как видно из Рисунка 4, на высотах h_{x1} , h_{x2} и h_{x3} объект полностью попадает в зону защиты, а это значит, что весь объект находится в зоне защиты установленного стержневого молниеотвода высотой $h=100$ м, установленного на расстоянии 2 метров ($l = 2$ м) от обвалования (за его пределами), надежность защиты $P_3 = 0,99$.

Двойной стержневой молниеотвод: Методика

Молниеотвод считается двойным, когда расстояние между стержневыми молниеприёмниками L не превышает предельной величины L_{max} . В противном случае оба молниеотвода рассматриваются как одиночные.

Конфигурация вертикальных и горизонтальных сечений стандартных зон защиты двойного стержневого молниеотвода (высотой h и расстоянием L между молниеотводами) представлена на Рисунке 12. Построение внешних областей зон двойного молниеотвода (полуконусов с габаритами h_0, r_0) производится по формулам Таблице 8 для одиночных стержневых молниеотводов. Размеры внутренних областей определяются параметрами h_0 и h_c , первый из которых задает максимальную высоту зоны непосредственно у молниеотводов, а второй - минимальную высоту зоны посередине между молниеотводами. При расстоянии между молниеотводами $L \leq L_c$ граница зоны не имеет провеса ($h_c = h_0$). Для расстояний

$$L_c \leq L \leq L_{max}$$

высота h_c определяется по выражению:

$$h_c = \frac{L_{max}-L}{L_{max}-L_c} \times h_0 \quad (13);$$

Входящие в него предельные расстояния L_{max} и L_c вычисляются по эмпирическим формулам таблица 8, пригодным для молниеотводов высотой до 150 м. При большей высоте молниеотводов следует пользоваться специальным программным обеспечением.

Размеры горизонтальных сечений зоны вычисляются по следующим формулам, общим для всех уровней надежности защиты:

максимальная полуширина зоны r_x в горизонтальном сечении на высоте h_x :

$$r_x = \frac{r_0 \times (h_0 - h_x)}{h_0} \quad (14);$$

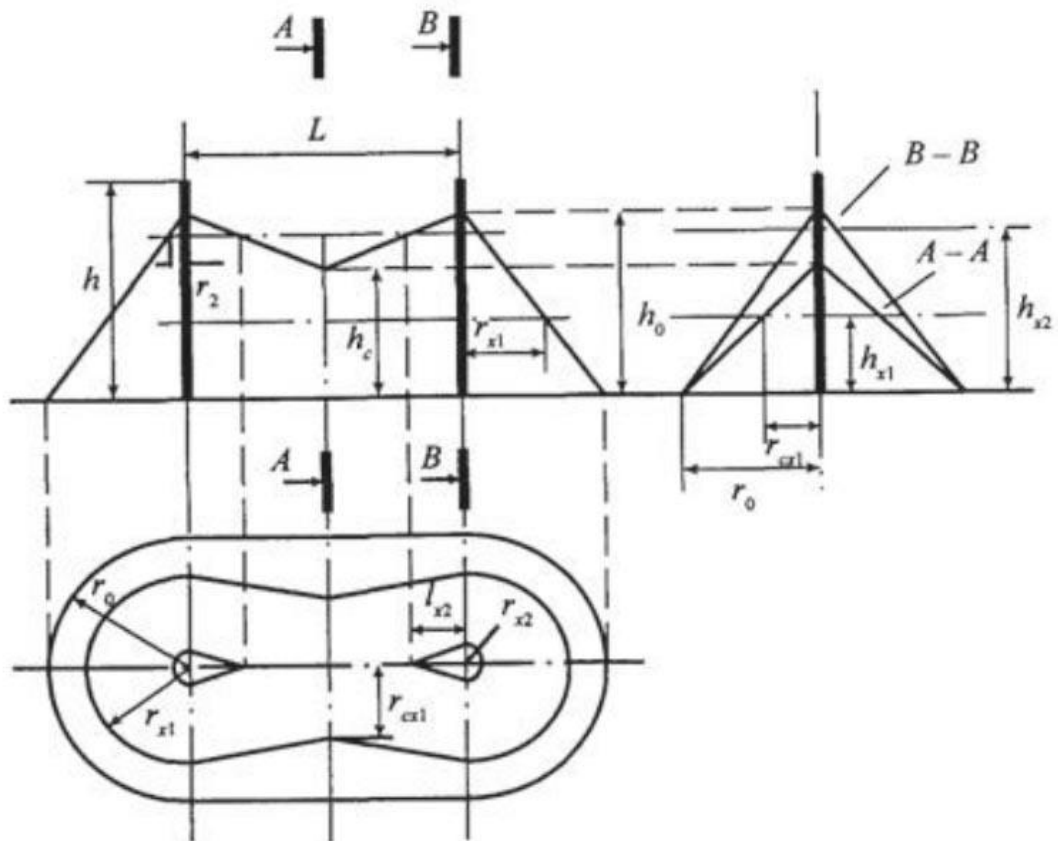


Рис. 12 - Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

длина горизонтального сечения L_x на высоте $h_x \geq h_c$:

$$L_x = \frac{L(h_x - h_c)}{2(h_0 - h_c)} \quad (15);$$

ширина горизонтального сечения в центре между молниеотводами r_{cx} на высоте $h_x \leq h_c$:

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_c} \quad (16);$$

Таблица 8 – Расчет параметров зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Надежность защиты P_3	Высота молниеотвода h , м	L_{max} , м	L_c , м
0,9	От 0 до 30	5,75h	2,5h
	От 30 до 100	$[5,75-3,57 \times 10^{-3} \times (h-30)] \times h$	2,5h
	От 100 до 150	5,5h	2,5h
0,99	От 0 до 30	4,75h	2,25h
	От 30 до 100	$[4,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$[2,25-0,01007 \times (h-30)] h$
	От 100 до 150	4,5h	1,5h
0,999	От 0 до 30	4,25h	2,25h
	От 30 до 100	$[4,25-3,57 \cdot 10^{-3} \times (h-30)]h$	$[2,25-0,01007 (h-30)]h$
	От 100 до 150	4,0h	1,5h

Расположим двойной стержневой молниеотвод так, чтобы оба его молниеприемника находились диаметрально противоположно (относительно резервуара) на расстоянии 2 метров ($l = 2$ м) от обвалования (за его пределами). Методом подбора выбрана наименьшая подходящая высота молниеотвода $h=45$ м, надежность защиты $P_3 = 0,99$.

Определим получившееся расстояние между молниеприемниками L :

$$L = 2 \times l + 2 \times b + 2 \times L + D = 2 \times 2 + 2 \times 0,5 + 2 \times 18,5 + 28,5 = 70,5 \text{ м.} \quad (17);$$

Определим величины L_{max} и L_c :

$$L_{max} = [4,75 - 3,57 \times 10^{-3}(h - 30)]h = [4,75 - 3,57 \times 10^{-3}(40 - 30)] \times 40 \approx 189 \text{ м;} \quad (18);$$

$L < L_{max} \rightarrow$ молниеотвод можно считать двойным (так как получившееся расстояние между стержневыми молниеприёмниками L не превышает предельной величины L_{max});

$$L_c = [2,25 - 0,01007 \times (h - 30)] \times h = [2,25 - 0,01007 \times (40 - 30)] \times 40 \approx 86 \text{ м.} \quad (19)$$

$L < L_c \rightarrow$ граница зоны защиты не имеет провеса ($h_c = h_0$).

Определим параметр зоны защиты h_0 :

$$h_0 = 0,8 \cdot h = 0,8 \cdot 45 = 36 \text{ м.} \quad (20)$$

Высота резервуара в наивысшей точке (21,82 м) не выходит за рамки параметра зоны защиты (36 м).

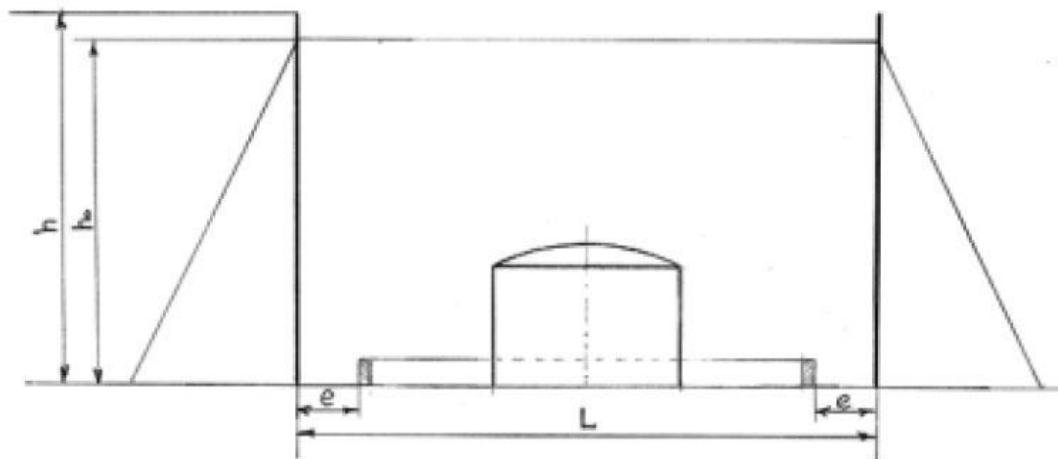


Рис. 13 – Расположение двойного стержневого молниеотвода

Значит, весь объект находится в зоне защиты. Был выбран двойной стержневой молниеотвод. Его конфигурация выбрана таким образом, чтобы оба его молниеприемника находились диаметрально противоположно (относительно резервуара) на расстоянии 2 метров ($l = 2$ м) от обвалования (за его пределами). Высота молниеотвода $m=45$ м, надежность защиты $P_3 = 0,99$.

Заключение

В ходе данной работы был произведен расчет системы молниезащиты, который сводился к определению типа резервуара, расчету его параметров и обвалования, выбору типов молниеотводов и расчет зоны защиты каждого из типов защиты.

Принятые к установке молниеотводы соответствуют расчетным параметрам, обеспечивают необходимую защиту от удара молнии защищаемых резервуаров в соответствии с требованиями нормативных документов. Все надлежащие нормы и правила соблюдены.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

Геометрические размеры типовых вертикальных стальных резервуаров (РВС) для авиатоплива:

Таблица Размеры типовых резервуаров типа РВС

Номинальный объем, м ³	Внутренний диаметр, м	Высота стенки, м
100	4,73	6,0
200	6,63	6,0
300	7,58	7,5
400	8,53	7,5
700	10,43	9,0
1000	10,43	12,0
2000	15,18	12,0
3000	18,98	12,0
5000	22,8	12,0
5000	20,92	15,0
10000	28,5	18,0
10000	34,2	12,0

Приложение № 2
Варианты заданий

№ п/п	Тип резервуара	Номинальный объём $V, м^3$	Дыхательный клапан
1	РВС	50000	КПГ
2	РВС	200	НДКМ
3	РВС	3000	КДМ
4	РВС	1000	СМДК
5	РВС	700	КДЗТ
6	РВС	2000	КДС
7	РВС	1000	СМДК
8	РВС	5000	КДМ
9	РВС	3000	КПГ
10	РВС	40000	НДКМ
11	РВС	30000	КДС
12	РВС	20000	НДКМ
13	РВС	10000	КДМ
14	РВС	3000	КПГ

Список литературы:

1. Методические указания по содержанию и оформлению курсовых работ, проектов, домашних заданий и пр. для студентов всех направлений подготовки и специальностей механического факультета очной и заочной форм обучения по дисциплинам кафедры Авиатопливообеспечения и ремонта ЛА
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций: СО 153-34.21.122-2003: утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 30.06.2003 №280. - М.: ЦПТИ ОРГРЭС, 2004, 60с
3. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов: ГОСТ 31385-2016. – М.: Стандартиформ, 2016, 96 с.
4. ГОСТ Р 53324-2009 «Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности» [4]