

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

НЕФТЕНАЛИВНЫЕ ЕМКОСТИ С ЭЛЕМЕНТАМИ РАСЧЕТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ЖИДКОСТИ

Методические указания

Составители:
С.В. Антимонов,
С.П. Василевская

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, 18.03.01 Химическая технология

Оренбург
2021

УДК 621.512(076.5)

ББК 31.76я7

Н 24

Рецензент - кандидат технических наук, доцент В.П. Попов

Н 24 **Нефтеналивные емкости с элементами расчета для управления расходом жидкости : методические указания / составители С.В. Антимонов, С.П. Василевская; Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2021. – 26 с.**

Методические указания содержат общие сведения о нефтеналивных емкостях, методику и последовательность их расчета.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий, выполнения контрольных работ и самостоятельной работы.

УДК 621.512(076.5)

ББК 31.76я7

© Антимонов С.В.,
Василевская С.П.,
составление, 2021
© ОГУ, 2021

Содержание

Введение	4
1 Общие положения	5
1.1 Классификация и виды резервуаров для нефтепродуктов.....	5
1.2 Использование резервуаров для хранения нефтепродуктов на АЗС	10
2 Методика расчета управлением расхода жидкости в резервуарах с различной геометрией.....	16
3 Пример расчета управлением расхода жидкости в резервуарах с различной геометрией.....	22
4 Контрольные вопросы	24
Приложение А.....	25
Список использованных источников	26

Введение

Методические указания написаны в дополнение к основной литературе и курсам лекций «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли», «Основы проектирования химических и нефтехимических производств», «Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии», «Системы автоматизированного проектирования предприятий химических производств».

Эти изучаемые дисциплины являются переходными курсами от общеинженерных дисциплин к специальным и позволяют:

- закрепить и применить на практике, знания, полученные при изучении общеинженерных дисциплинах, способствующих изучению различных факторов, позволяющих управлять технологическими процессами;
- детально и более подробно разобраться в технологических процессах химических и пищевых производств, что позволит в дальнейшем лучше изучить и разобраться в технологическом оборудовании данных производств.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий и выполнения контрольных работ.

В процессе выполнения работ, студенты изучают нормативную и справочную литературу, приобретают навыки анализа изучаемых материалов, технологических и конструктивных расчетов.

1 Общие положения

Первые нефтяные хранилища в России появились в 17 веке. Устройство резервуаров для нефтепродуктов было примитивным: «черное золото» хранили в амбарах или земляных ямах глубиной 4-5 м. Чтобы нефть не просачивалась в почву, ямы цементировали, а надземную часть конструкции прикрывали каменными сводчатыми крышами.

Чуть позднее были созданы резервуары из стали, появились клепаные, а затем и сварные их разновидности.

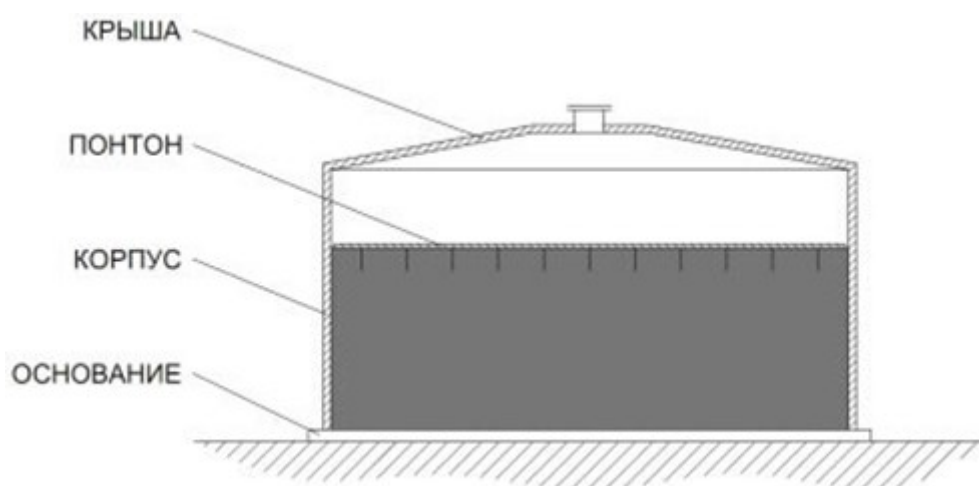


Рисунок 1 - Цилиндрический резервуар со стационарной крышей и понтоном

1.1 Классификация и виды резервуаров для нефтепродуктов

Резервуары и емкости необходимы везде, где существует потребность в хранении и транспортировке нефтепродуктов, опасность возникновения аварийных разливов и утечек:

- на месторождениях нефти;
- на промежуточных станциях по перекачиванию и нефтепроводах;

- на нефтеперерабатывающих заводах, нефтехимических предприятиях;
- по месту аварийных ситуаций.

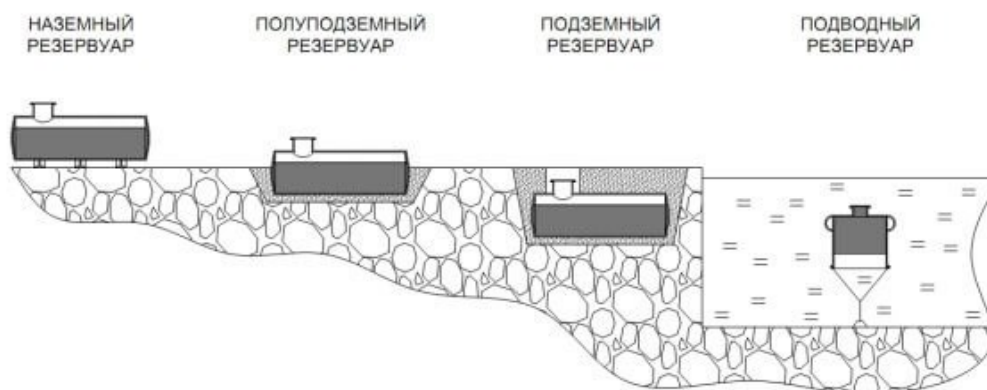


Рисунок 2 - Способы расположения резервуаров для нефти

Подводные. Считаются более эффективными, чем береговые аналоги. Организация подводного хранилища основана на эффекте от разницы плотности двух сред: водной и нефтяной. Нефть располагают на водяной «подушке» в специальных баках.

У подводных резервуаров, напоминающих по форме колокола, часто отсутствует днище.

Изготавливают изделия из металлов и неметаллов, пластичных и эластичных материалов.

Заполняют с помощью насосов, опорожняют, используя действие гидростатического давления воды.

Закрепляют на дне водоемов с помощью якорей.

Применяют на морских базах и нефтепромыслах.

Подземные. Резервуары погружают в грунт и для обеспечения безопасности заливают бетонной смесью. Устройство хранилищ проводится с учетом влажности грунта, которая, в свою очередь, является дополнительной защитой емкостей.

Среди основных преимуществ подземных конструкций:

- комфортная эксплуатация;
- эргономичность;

- устойчивость к перепадам суточных температур;
- возможность размещения в сейсмически опасных регионах.

К наиболее востребованным относят двустенные модели с защитной внешней колбой. Расстояние между стенками в 4 мм заполняется газом или жидкостью. Резервуары надежно герметизируются. За состоянием межстенной полости осуществляется контроль, гарантирующий исключение аварийных ситуаций.

Солевые. Размещаются на глубине 100 м и ниже, используются для хранения топлива. Формируются через скважины путем выщелачивания (размыва соли водой). Для опорожнения хранилища закачивают концентрированный солевой состав.



Рисунок 3 - Формы резервуаров для нефтепродуктов

Что касается форм резервуаров, то здесь стоит выделить 3 самых ходовых варианта:

1) Цилиндрические стальные сооружения - самый востребованный вариант, отличается несложным процессом изготовления и легким монтажом.

2) Сферические резервуары. Их успешно применяют на химических производствах. Конструкция резервуара для нефтепродуктов состоит из отдельных стальных листов 25-30 мм толщиной, шарообразно сваренных или свальцованных. Устанавливаются конструкции на ж/б фундаменте.

3) Каплевидные хранилища формируют на месте монтажа из деталей, изготовленных в виде лепестков.

Резервуары из стали

Большой популярностью пользуются хранилища, корпус которых изготовлен из стали. Они отличаются не только размером или формой, но и технологическим назначением. Например, емкости низкого давления используются для хранения слабо испаряющихся нефтепродуктов.

Наиболее сложную конструкцию имеют вертикальные изделия, среди которых можно выделить несколько основных конструкций.

Низкого давления со щитовым покрытием

Их покрытие состоит из готовых щитов сферической или конической формы, изготовленных из стали толщиной в 2,5 мм. Чтобы снизить расходы на подогрев нефтепродуктов, такие хранилища оснащаются дополнительным слоем теплоизоляции. Также на них устанавливается специальное оборудование:

- дыхательный клапан - позволяет регулировать давление паров нефтепродуктов при перепадах температур или во время закачки-выкачки содержимого;
- предохранительный клапан - дополнительно оснащается гидравлическим затвором и позволяет регулировать давление паров внутри хранилища при неисправном дыхательном клапане;
- устройство для измерения уровня - чаще всего используются приборы типа УДУ;
- пробоотборник - позволяет осуществлять отбор проб по всей высоте резервуара в полуавтоматическом режиме;
- люк-лаз - необходим для осмотра, очистки и проведения ремонтных работ;
- кран сифонный - позволяет выпускать подтоварную воду из хранилища;
- пеногенератор - представляет собой систему пожаротушения.

С плавающим понтоном

Позволяют снизить потери легкоиспаряющихся нефтепродуктов. Благодаря специальному понтону, плавающему на поверхности, процесс испарения может быть значительно снижен. Понтон имеет форму диска, на котором установлены поплавки. Чтобы избежать заклинивания понтона, что может стать следствием неровности стен, между ними предусматривается зазор, который перекрывается герметизирующими затворами.

Затвор является одним из основных элементов конструкции, и без него понтон не сможет работать эффективно. Чаще всего понтоны изготавливаются из металла или синтетических пенопластиковых материалов. Так как эта конструкция используется в хранилищах со стандартным покрытием, предотвращающим попадание внутрь атмосферных осадков, в последнее время высокой популярностью пользуются облегченные конструкции из синтетических материалов.

Каплевидной формы

Активно применяются для хранения нефтепродуктов, пары которых имеют высокий показатель упругости. В такой ситуации использование хранилищ атмосферного типа становится нецелесообразным. Оболочка резервуара по форме напоминает каплю, что позволяет равномерно распределить давление жидкости по всей конструкции. Кроме того, при их изготовлении достигается существенная экономия металла.

Каплевидные хранилища можно разделить на два типа:

- гладкие;
- многоторовые.

Резервуары первого типа имеют гладкий корпус без изломов кривых меридионального сечения и чаще всего они обладают емкостью до 6000 м³. Хранилища, корпуса которых образованы благодаря пересечению нескольких оболочек с двойной кривизной, принято называть многокупольными. Они

отличаются в первую очередь низким внутренним давлением, составляющим порядка 0,37 МПа.

1.2 Использование резервуаров для хранения нефтепродуктов на АЗС

Отдельного внимания заслуживает вопрос размещения резервуара с нефтепродуктом на автозаправочной станции. Именно от качества исполнения этого сосуда зависит, насколько надёжно может функционировать сама заправка, а размещение такого резервуара в черте города только повышает уровень риска.

Резервуар с топливом является краеугольным камнем каждой АЗС и именно от него уже строятся все коммуникации. Данная ёмкость изготавливается из высококачественной стали или полимерных материалов, а та площадь, которую занимают подземные ёмкости, в несколько раз превышает площадь самой станции. При этом монтаж и установка резервуаров имеет множество нюансов и требований, соблюдение которых необходимо. Только уделив внимание всем аспектам, можно быть уверенными в качественном итоговом результате.

Резервуары: виды и типы

Резервуары топлива на АЗС применяются для приемки и хранения топлива (бензин, дизельное топливо).

В зависимости от вида топлива резервуары АЗС различаются:

- для бензина;
- для дизельного топлива;
- масла;
- ёмкости сжиженных углеводородных газов (СУГ);
- ёмкости жидкого топлива и горюче-смазочных материалов.

Автозаправочные станции относятся к объектам высокой опасности, поэтому к ним применяются жесткие требования. Резервуары для АЗС должны быть: герметичными, безопасными в эксплуатации и соответствовать противопожарным и экологическим нормам.

Емкости оборудуются специальными устройствами, которые контролируют состояние хранимого продукта, оснащаются звуковой и световой сигнализацией.

Резервуары всегда оснащаются:

- сливным устройством – для приёма топлива из бензовоза;
- всасывающим устройством – для подачи топлива в колонку из резервуара;
- замерным (зондовым) устройством – для измерения уровня жидкости;
- дыхательным устройством – для сообщения резервуара с атмосферным воздухом.

Объемы резервуаров

Топливные резервуары имеют различные объемы, но в основном это емкости объемом до 75 м³. Наземные резервуары для топлива производятся объемом 5, 10, 15, 25, 30, 40, 50, 60, 75 м³.

По правилам технической эксплуатации, объем заполнения топливом резервуара составляет максимум 95% от всего объема резервуара, для исключения перелива внутри устанавливается отсечной клапан. Наибольшее распространение на АЗС получили резервуары малой емкости (от 5 до 75 м³), изготовленные из стали в соответствии с техническими требованиями.

В зависимости от вида перевозимых грузов вагоны-цистерны подразделяются на цистерны общего назначения и специальные. К цистернам общего назначения относятся цистерны для перевозки широкой номенклатуры жидких нефтепродуктов, не требующих подогрева при наливе и сливе в диапазоне климатических изменений температуры груза. Цистерны общего назначения составляют основную часть парка вагонов-цистерн.

Конструкция вагона-цистерны на примере восьмиосной цистерны модели 15-871.

Котел представляет собой цилиндрическую емкость сварной конструкции, состоящую из обечаек и эллиптических днищ, подкрепленную шпангоутами для повышения несущей способности и жесткости цилиндрической оболочки. Цилиндрическая часть котла с внутренним диаметром 3000 мм., составлена из 2-х половин, сваренных встык.

Преимуществами стыковых швов по сравнению с применявшимися ранее нахлесточными соединениями являются:

- отсутствие дополнительных напряжений в зоне швов, обусловленных местным изгибом оболочки;
- большая вибрационная и ударная прочность швов;
- лучшие условия контроля за качеством шва (просвечивание рентгеном, гамма-лучами и т. п.);
- меньшая масса котла.

Повышение прочности и устойчивости оболочки котла при малой его массе достигается подкреплением кольцевыми шпангоутами и, расположенными в средней и опорных частях котла

Котел оборудован двумя сливными приборами и двумя колпаками с крышками, что позволяет ускорить операции налива и слива груза и обеспечить лучшие условия труда при очистке котла.

Внутри горловин размещены по 2 сегментные планки: верхняя для контроля предельного уровня налива и нижняя для принятия мер к замедлению налива котла. Колпаки цистерны имеют малые размеры. При наливе груза часть объема котла (2 %) остается незаполненной для обеспечения температурного расширения груза.

Кузов вагона-цистерны представляет собой котёл цилиндрической формы, закрытый с боков эллиптическими днищами. Котлы цистерны имеют устройства для погрузки и разгрузки, вид которых зависит от перевозимого груза. Котлы специальных цистерн могут иметь тепло-изоляционное покрытие или оборудование для разогрева перевозимого продукта, а также приборы для контроля за его состоянием. В некоторых цистернах внутренняя полость котла

разделяется на несколько секций. В цистернах, у которых котёл укладывается на раму, воспринимающую продольные нагрузки, возникающие в поезде, котёл в передаче этих нагрузок к другим вагонам поезда не участвует. У вагона-цистерны безрамной конструкции котёл является цельнонесущей конструкцией, воспринимает и передаёт продольные тяговые и ударные усилия, выполняя функции рамы. Для повышения прочности и жёсткости котлов вагонов-цистерн большого диаметра и длины цилиндрическая обечайка котла подкрепляется кольцами - шпангоутами, которые могут быть установлены на наружной поверхности или внутри ёмкости. Объём котла цистерны колеблется в широких пределах от 15-20 м³ в первых вагонах-цистернах, строившихся в конце XIX века, до 120 м³ (8-ми осная цистерна для перевозки светлых нефтепродуктов) и выше.

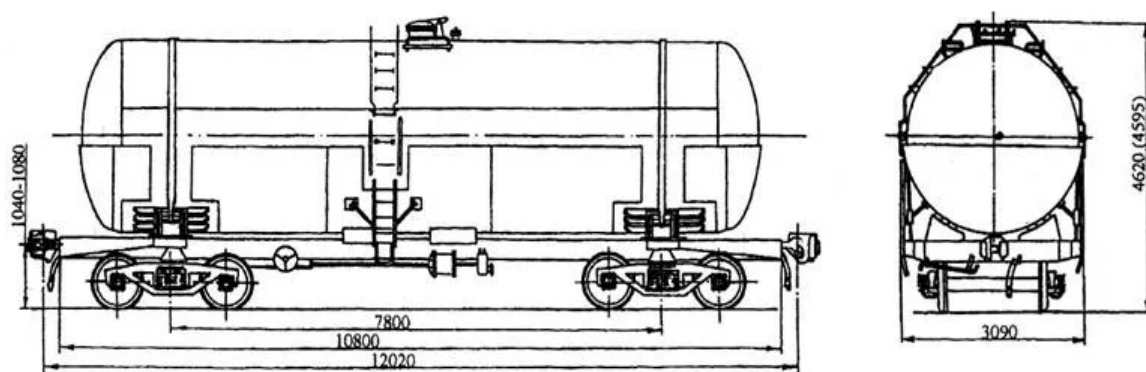


Рисунок 4 - Цистерна модели 15-1566-06 для перевозки нефтепродуктов

Слив нефтепродуктов из железнодорожных цистерн, как правило, производят посредством сливного прибора, который располагается либо в нижней части цистерны (так называемый нижний слив нефтепродуктов). Если нижний слив неисправен, то используют горловину цистерны (верхний слив).

При использовании способа открытого самотечного слива, нефтепродукты через сливной прибор, расположенный внизу цистерны, посредством сливных лотков доставляются в центральный желоб. Далее, из него, через трубопровод нефтепродукты стекают в «нулевой» приемный резервуар, который располагается ниже земной поверхности. Поскольку при использовании такого

способа возможны потери в результате процесса испарения, он применяется только для слива нефтепродуктов с низкой испаряемостью.

Один из вариантов такой схемы - межрельсовый слив, при котором центральный желоб расположен сразу под цистерной, что позволяет обойтись без переносных желобов.

Основной недостаток перечисленных способов – возможное загрязнение сливаемых нефтепродуктов.

Чтобы устранить этот недостаток, используют способ закрытого самотечного слива. Его отличие - вместо желобов к нижнему сливному прибору подсоединяют либо гибкий рукав, либо трубу с шарнирным сочленением. Функцию центрального желоба в этом случае выполняет трубопровод-коллектор. Такие схему слива можно использовать и для бензина различных фракций, поскольку потери от испарения здесь сведены к минимуму. Сифонный самотечный слив выполняется через горловину. Его применение возможно при одном условии – если уровень расположения приемного резервуара ниже, чем уровень сливаемой цистерны. Движение сливаемого продукта обеспечивает вакуум, создаваемый в стояке вакуумным насосом. Чтобы избежать разрыва струи, который может привести к срыву сифона, давление не должно быть ниже, чем давление упругости, создаваемое парами нефтепродукта.

Основной недостаток этого способа - низкая производительность.

Быстрее всего слив нефтепродуктов происходит способом принудительного нижнего слива, при котором используется специальный насос, который находится в нижнем сливном приборе цистерны, и система труб с шарнирными сочленениями.

Принудительный слив может быть и верхним.

Он происходит через горловину специальными сливными стояками. Начало движения продукта обеспечивается вакуумным насосом, а затем подключается другой насос, который и закачивает нефтепродукт в приемный резервуар. Одним из вариантов такого слива - эжекторный, который применяется в основном для светлых нефтепродуктов.

Налив нефтепродуктов в железнодорожные цистерны бывает открытой или закрытой струей и герметизированным.

Налив открытой струей подразумевает соприкосновение продукта с атмосферой, что приводит к усилению испарения (особенно светлых нефтепродуктов), а также к образованию статического электричества. Оба этих процесса являются нежелательными, вследствие чего такой налив имеет ограниченное применение только при загрузке темных нефтепродуктов.

Налив закрытой струей производится с помощью шланга, который опускают до нижней части цистерны, и струя загружаемого продукта соприкасается с воздухом короткое время - в самом начале слива. Стоит отметить, что при таком способе потери бензина снижаются примерно в два раза (по сравнению с открытой струей).

Герметичный налив выполняется при помощи АСН - автоматизированных систем налива. Их конструкция предусматривает герметизирующую крышку, телескопическую трубу и линию, обеспечивающую отвод образовавшейся паровоздушной смеси.

Резервуары делят по конструктивному выполнению:

- *Одностенные.* Используются для наземного монтажа или подземного в бетонный саркофаг. Выполняются из материалов, устойчивых к воздействию нефтепродуктов и окружающей среды, а также исключают проникновение топлива в грунт при возможных утечках из внутреннего пространства.

- *Двустенные.* Применяются в основном для подземной установки, подходят для всех видов топлива. В двустенных резервуарах основная емкость размещена внутри защитной. Наружная оболочка предохраняет главный резервуар от воздействия окружающей среды и служит теплоизолятором. Пространство между стенками герметично и его заполняют азотом, термотосолом или этиленгликолем. В промежутке между стенками устанавливают датчики контроля герметичности. О возникновении нештатной ситуации сообщает звуковая и световая сигнализация. Хранение бензина и дизельного топлива в различных камерах одного резервуара возможно только в

двухстенных резервуарах камеры для бензина и дизельного топлива которых разделены двумя перегородками с обеспечением контроля герметичности. Срок службы двустенного стального резервуара составляет не менее 10 лет при условии соблюдения всех требований по безопасной эксплуатации.

2 Методика расчета управлением расхода жидкости в резервуарах с различной геометрией

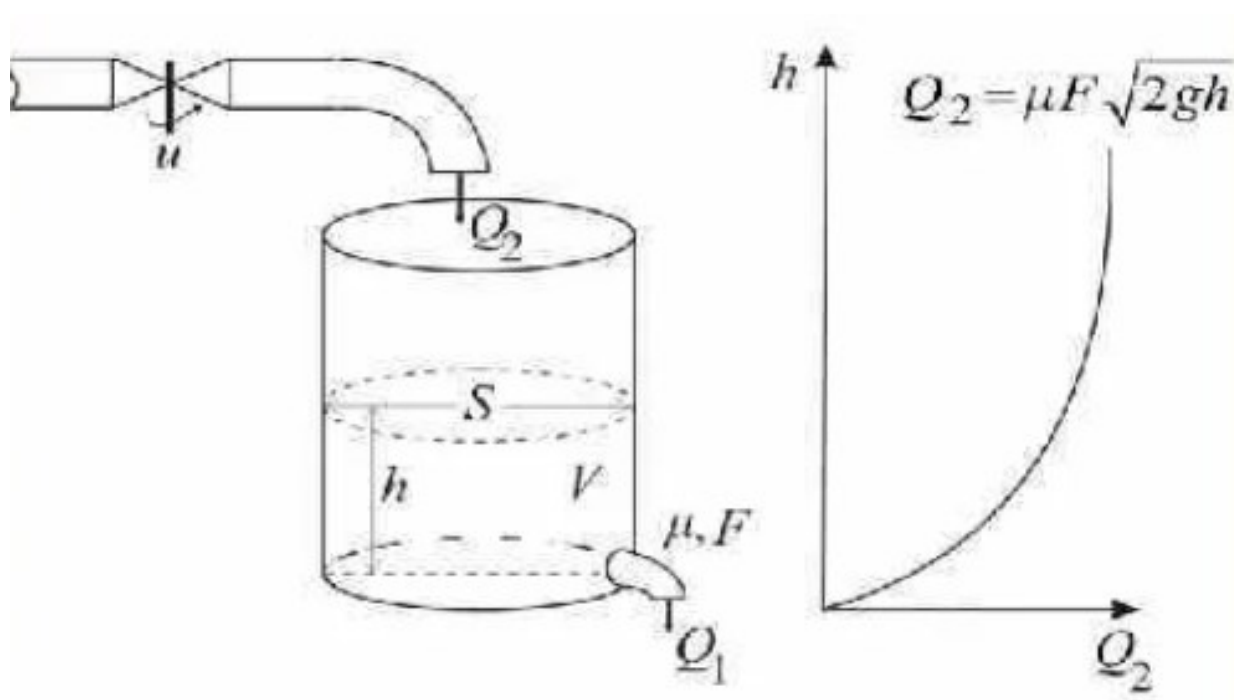


Рисунок 5 - Расчетная схема конструкции цилиндрического резервуара заполненного жидкостью

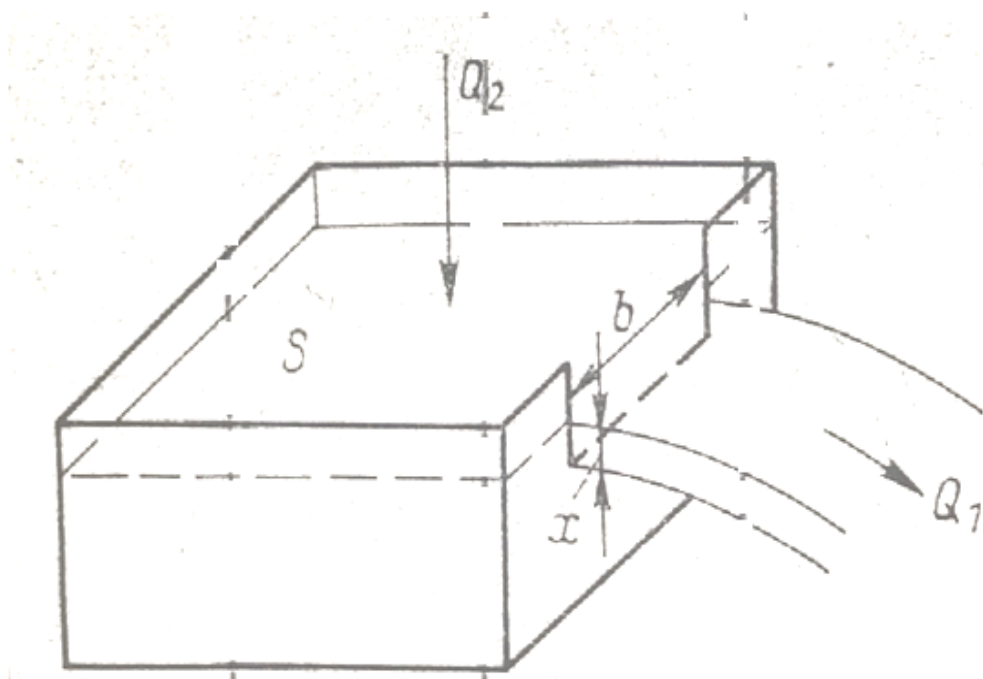


Рисунок 6 - Схема резервуара со сливом через порог

На рисунке показана конструкция простейшего цилиндрического резервуара, заполненного жидкостью или пульпой. Часто в таких резервуарах управляют уровнем, что необходимо или для нормального протекания процесса, или для управления расходом жидкости. Введем обозначения: V - объем жидкости, м^3 ; S - площадь поверхности жидкости, м^2 ; x - уровень жидкости, м ; Q_1 и Q_2 - объемные расходы жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; F - площадь проходного отверстия сливной трубы, м^2 . Составим уравнение материального баланса для данного объекта:

$$dV + Q_1 dt = Q_2 dt. \quad (1)$$

Уравнение (1) показывает, что расход Q_2 за время dt уравнивается расходом Q_1 и приращением объема dV жидкости в резервуаре. Разделим правую и левую части уравнения (1) на dt :

$$\frac{dV}{dt} + Q_1 = Q_2. \quad (2)$$

Выразим объем жидкости V и расход Q_1 через уровень x :

$$V = S \cdot x. \quad (3)$$

тогда

$$\frac{dV}{dt} = S \frac{dx}{dt}.$$

Зависимость между Q_1 и x найдем из уравнения Бернулли

$$\frac{v^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} = x - x_0 + \frac{p_1 - p_2}{\gamma}. \quad (4)$$

где v - скорость истечения жидкости из сливного отверстия; v_0 - скорость изменения уровня жидкости в резервуаре; $x - x_0$ - перепад высот жидкости в резервуаре; p_1, p_2 - давления над жидкостью в резервуаре и за сливным отверстием. В нашем случае $v \gg v_0, x_0 = 0, p_1 = p_2$, тогда скорость истечения жидкости выразится формулой

$$v = \sqrt{2gx}. \quad (5)$$

Умножим правую и левую части равенства на площадь проходного сечения F : $Fv = F\sqrt{2gx}$, но $Fv = Q_1$ поэтому

$$Q_1 = \mu F \sqrt{2gx}, \quad (6)$$

где μ - безразмерный коэффициент расхода, характеризующий форму и состояние поверхности сливного отверстия. Подставив полученные зависимости в выражение (2), запишем окончательное уравнение баланса резервуара:

$$S \frac{dx}{dt} + \mu F \sqrt{2gx} = Q_2. \quad (7)$$

При $\frac{dx}{dt} = 0$ имеем, $\mu F \sqrt{2gx} = Q_2$ т.е. статический, или стационарный, режим, характеристика которого показана на рисунке в виде параболы.

Статистический, или стационарный, режим характеризует закон, положенный в основу работы объекта, в частности закон свободного истечения жидкости. Коэффициент при производной характеризует геометрию резервуара. В зависимости от геометрии резервуара коэффициент при производной может быть функцией от уровня. Допустим, что для резервуара, выполненных в виде усеченной пирамиды, усеченного конуса и сферы, уравнения имеют вид:

$$\left(\frac{ab}{3} + \frac{2}{3} atgax + \frac{1}{2} \sqrt{a^2 btgax} \right) \frac{dx}{dt} + \mu F \sqrt{2gx} = Q_2;$$

$$\pi(r^2 + 2rtgax + tg^2ax) \frac{dx}{dt} + \mu F \sqrt{2gx} = Q_2; \quad (8)$$

$$\pi(2Rx - x^2) \frac{dx}{dt} + \mu F \sqrt{2gx} = Q_2.$$

Заметим, что коэффициент расхода μ зависит от плотности жидкости, которая может изменяться во времени. Значит, коэффициент расхода будет функцией времени $\mu(t)$. Но обычно время изменения коэффициента расхода несоизмеримо μ со временем переходных процессов, а тем более оптимальных, поэтому считаем, что $\mu = const$.

Изменение физического закона на основании которого происходит истечение жидкости из резервуара, также отражается на математическом описании. Если жидкость или пульпа отсасываются насосом, следовательно, расход не зависит от уровня, то уравнения (7) и (8) примут вид

$$S \frac{dx}{dt} = \Delta Q;$$

$$\left(\frac{ab}{3} + \frac{2}{3}atgax + \frac{1}{2}\sqrt{a^2btgax}\right)\frac{dx}{dt} = \Delta Q; \quad (9)$$

$$\pi(r^2 + 2rtgax + tg^2ax)\frac{dx}{dt} = \Delta Q;$$

$$\pi(2Rx - x^2)\frac{dx}{dt} = \Delta Q.$$

где ΔQ - разность между постоянным расходами Q_1 и Q_2 . Итак, получили интегрирующий объект с постоянной или переменной скоростью изменения уровня.

Рассмотрим еще один объект, выполненный на базе резервуара. На рисунках показана камера флотационной машины. У которой слив происходит через порог. Данный тип резервуара описывается следующим нелинейным уравнением:

$$S \frac{dx}{dt} + \left(0,465 + \frac{0,003}{x}\right) b\sqrt{2gx^{\frac{3}{2}}} = Q_2. \quad (10)$$

Статистическая зависимость

$$\left(0,465 + \frac{0,003}{x}\right) b\sqrt{2gx^{\frac{3}{2}}} = Q_2. \quad (11)$$

характеризует физический закон слива жидкости через порог. Интересно, что зависимость расхода жидкости от ее уровня дана в виде эмпирической формулы. Такое положение не является каким-то исключением: многие процессы НИ энергетике, металлургии и т.д. часто представлены эмпирическими

зависимостями, полученными на основании многочисленных экспериментов. Поэтому описание процессов получило равное право с аналитическими.

Предположим теперь, что расход $Q_2 = x_1$ меняется с помощью интегрирующего исполнительного механизма для всех типов резервуаров. Тогда получим следующую систему уравнений:

- для цилиндрического резервуара

$$\frac{dx_1}{dt} = b_1 u, \quad S \frac{dx_2}{dt} + \mu F \sqrt{2gx_2} = x_1. \quad (12)$$

- для сферического

$$\frac{dx_1}{dt} = b_1 u, \quad \pi(2Rx_2 - x_2^2) \frac{dx_2}{dt} + \mu F \sqrt{2gx_2} = x_1. \quad (13)$$

Представим эти уравнения в нормальной форме:

$$\frac{dx_1}{dt} = b_1 u ;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{S} - \frac{\mu F \sqrt{2g}}{S} \sqrt{x_2} = a_{12}x_1 - a_{22}\sqrt{x_2} = f_{12}(x_1) - f_{22}(x_2); \quad (14)$$

$$\frac{dx_1}{dt} = b_1 u ;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{\pi(2Rx_2 - x_2^2)} - \frac{\mu F \sqrt{2gx_2}}{\pi(2Rx_2 - x_2^2)} = f_{12}(x_1, x_2) - f_{22}(x_2). \quad (15)$$

Теперь перепишем их в матрично-векторной форме

$$\dot{x} = A(x) + B(x); \quad (16)$$

- для циклического резервуара

$$A(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ f_{12}(x_1) - f_{22}(x_2) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ a_{12}x_1 - a_{22}\sqrt{x_2} \end{pmatrix}; B(x) = \begin{pmatrix} b_1 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (17)$$

- для сферического

$$A(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ f_{12}(x_1, x_2) - f_{22}(x_2) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{x_1 \mu F \sqrt{2gx_2}}{\pi(2Rx_2 - x_2^2)} \end{pmatrix}; B(x) = \begin{pmatrix} b_1 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

В дальнейшем будет использоваться полученная форма уравнений, как для отдельных звеньев, так и для их комбинаций.

3 Пример расчета управлением расхода жидкости в резервуарах с различной геометрией

Исходные данные для расчета

Номинальный объем м ³	h, мм	S, м	F, м	μ	x, м
100	3000	17,56	0,28	0,707	2,6

Для цилиндрического резервуара

Объемный расход жидкости Q_1

$$Q_1 = \mu F \sqrt{2gx}$$

$$Q_1 = 0,707 \cdot 0,28 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 2,6} = 1,41$$

Объемный расход жидкости Q_2

$$Q_2 = S \frac{dx}{dt} + \mu F \sqrt{2gx}.$$

$$Q_2 = S + \frac{2g\mu F}{2\sqrt{x}}.$$

$$Q_2 = 17,56 + \frac{9,8 \cdot 0,707 \cdot 0,28}{\sqrt{2,6}} = 18,76.$$

Теперь запишем матрично-векторную форму

$$\dot{x} = A(x) + B(x)u$$

$$A(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ f_{12}(x_1) - f_{22}(x_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ a_{12}x_1 - a_{22}\sqrt{x_2} \end{pmatrix}; \quad B(x) = \begin{pmatrix} b_1 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$A(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,148 - 0,08 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,068 \end{pmatrix}; \quad B(x) = \begin{pmatrix} b_1 \\ 0 \end{pmatrix};$$

Для сферического резервуара

Объемный расход жидкости Q_1

$$Q_1 = \mu F \sqrt{2gx}$$

$$Q_1 = 0,707 \cdot 0,5024 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 4} = 3,145$$

Объемный расход жидкости Q_2

$$Q_2 = \pi(2Rx - x^2) \frac{dx}{dt} + \mu F \sqrt{2gx}$$

$$Q_2 = \pi 2R - 2x + \frac{2g\mu F}{2\sqrt{x}}$$

$$Q_2 = 3,14 \cdot 2 \cdot 4,5 - 2 \cdot 4 + \frac{9,8 \cdot 0,707 \cdot 0,5024}{\sqrt{4}} = 22$$

Теперь запишем матрично-векторную форму

$$\dot{x} = A(x) + B(x)u$$

$$A(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ f_{12}(x_1, x_2) - f_{22}(x_2) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{x_1 \mu F \sqrt{2gx_2}}{\pi(2Rx_2 - x_2^2)} \end{pmatrix}; B(x) = \begin{pmatrix} b_1 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$A(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,0637 - 0,05 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,0137 \end{pmatrix}; B(x) = \begin{pmatrix} b_1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

4 Контрольные вопросы

Стандартная схема стального нефтяного резервуара.

Очистка нефтяных резервуаров.

Классификация, назначение характеристика вертикальных цилиндрических резервуаров.

Классификация, назначение характеристика горизонтальных цилиндрических резервуаров.

Конструктивное выполнение резервуаров.

Приложение А

Варианты заданий

Для цилиндрических резервуаров

№	Номинальный объем м ³	h, мм	S, м	F, м	μ	x, м
1	100	3000	17,56	0,28	0,707	2,6
2	200	3000	34,5	0,28	0,707	2,6
3	250	3750	35,77	0,5	0,707	3,25
4	300	3750	45,1	0,5	0,707	3,25
5	400	3750	57,12	0,5	0,707	3,25
6	500	4625	57,15	0,785	0,707	4,008
7	700	4500	85,39	0,785	0,707	3,9
8	1000	6000	85,39	1,13	0,707	5,2
9	2000	6000	180,89	1,13	0,707	5,2
10	3000	6000	282,8	1,13	0,707	5,2
11	5000	7500	343,55	1,53	0,707	6,5
12	10000	8940	637,62	2,54	0,707	7,747
13	20000	8940	1249,7	2,54	0,707	7,747
14	30000	9000	1632,3	2,56	0,707	7,8
15	50000	9000	2892,3	2,56	0,707	7,8
16	100000	9000	5711,73	2,56	0,707	7,8

Для сферических резервуаров

№	Номинальный объем м ³	d, мм	S, м	F, м	μ	x, м
1	300	9000	254,34	0,5024	0,707	4
2	600	10500	346,185	0,785	0,707	4,67
3	900	12000	452,16	1,16	0,707	5,334
4	2000	16000	803,84	1,66	0,707	7,12
5	4000	20000	5024	2,83	0,707	8,89
6	300	9000	254,34	0,5024	0,707	4
7	600	10500	346,185	0,785	0,707	4,67
8	900	12000	452,16	1,16	0,707	5,334
9	2000	16000	803,84	1,66	0,707	7,12
10	4000	20000	5024	2,83	0,707	8,89
11	300	9000	254,34	0,5024	0,707	4
12	600	10500	346,185	0,785	0,707	4,67
13	900	12000	452,16	1,16	0,707	5,334
14	2000	16000	803,84	1,66	0,707	7,12
15	4000	20000	5024	2,83	0,707	8,89
16	300	9000	254,34	0,5024	0,707	4

Список использованных источников

1. Резервуар вертикальный стальной РВС-250 м³. https://gazovik-pgo.ru/cat/rvs/rvs_250/.
2. Железнодорожные цистерны. <https://www.turboreferat.ru/merchandizing/zheleznodorozhnye-cisterny/68444-350786-page1.html>.
3. Восьмиосная цистерна для перевозки нефтепродуктов. https://otherreferats.allbest.ru/transport/00629064_0.html.
4. Виды, устройство и характеристики резервуаров для нефтепродуктов. <https://northsea.ru/vidy-ustrojstvo-i-harakteristiki-rezervuarov-dlja-nefteproduktov.html>.
5. Сооружение резервуара объемом 1000 куб. м. <https://bank.nauchniestati.ru/primery/kurovaya-rabota-na-temu-sooruzhenie-rezervuara-obemom-1000-kub-m-imwp/>
6. Как происходит перевалка нефтепродуктов? <https://neftok.ru/transportirovka/perevalka-nefteproduktov.html#sliv>
7. Сферические резервуары. <https://www.emkostnoe.ru/news/i71-sfericheskie-rezervuary.html>.