



Кафедра пожарной безопасности
технологических процессов и производств

Слайд № 1



Тема № 9.2

Расчет систем аварийного слива жидкостей



Учебные цели:

методику расчета систем аварийного слива. Ознакомить обучающихся с основными мероприятиями и технологическими решениями, направленными на предотвращение аварий при выходе ГЖ и ЛВЖ из технологических аппаратов.

Учебные вопросы:

1. Метод расчёта размера сливных отверстий в устройствах, ограничивающих розлив горючих жидкостей.
2. Метод расчёта времени слива горючих жидкостей.



ЛИТЕРАТУРА:

Основная:

1. Хорошилов О.А., Пелех М.Т., Бушнев Г.В., Иванов А.В. Пожарная безопасность технологических процессов: Учебное пособие/под общей редакцией В.С. Артамонова—СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2012.—300 с.

Дополнительная:

1. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. Справочник. /Шевелев Ф.А. М., Стройиздат, 1973 г.
2. Пожарная безопасность технологических процессов. Учебник/ С.А.Горячев, С.В.Молчанов, В.П.Назаров и др.; Под общ. ред. В.П.Назарова и В.В.Рубцова; гриф МЧС России – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007.- 221 с.



ЛИТЕРАТУРА:

Нормативные документы:

1. ГОСТ Р 12.3.047-12. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
2. ГОСТ 12.1.004 – 91*. Пожарная безопасность. Общие требования.
3. ППР в Российской Федерации, утвержденные Приказом МЧС России №390 от 25.04.2012 года
4. Федеральный закон РФ от 22.07.2008г. №123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (117-ФЗ от 13.07.2012г.) (ст.52).
5. СП 4.13130.2009 СПЗ. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. (п.п. 6.4.5 табл. 6, 6.4.56, 6.10.3.23, 6.10.5.15 (и), 6.10.5.23, 6.10.5.24.



**Типовые схемы
систем аварийных сливов,
используемых на промышленных
объектах**



Системы аварийного слива предусматриваются из емкостной аппаратуры, содержащей огнеопасные жидкости (сжиженные газы, легковоспламеняющиеся и **горючие жидкости**)

Системы аварийного слива:

- **по способу слива жидкости**
(самотеком, под избыточным давлением, перекачкой с помощью насоса)
- **по приводу в действие**
(с ручным и автоматическим пуском),
- **по схеме слива**
(простая схема – одного аппарата и сложная – слив из группы аппаратов).



Различают следующие схемы аварийного слива ГЖ:

- самотеком из аппарата постоянного по высоте сечения
- из аппарата при помощи инертной среды
- самотеком из аппарата переменного по высоте сечения
- из аппарата с подачей водяного пара



Требования

к системам аварийного слива

- Аварийный слив производится в специальные аварийные или дренажные емкости подземного или полуподземного типа, расположенные вне пределов здания.
- При подземном расположении аварийной емкости, в который обеспечивается самотечный слив, расстояние между нею и глухой стеной здания должно быть не менее 1 м. Если стена здания, имеет проемы, то безопасное расстояние принимается равным 5 м .
- Не следует располагать аварийные емкости между зданиями и наружными установками (этажерками), связанными с этими зданиями.



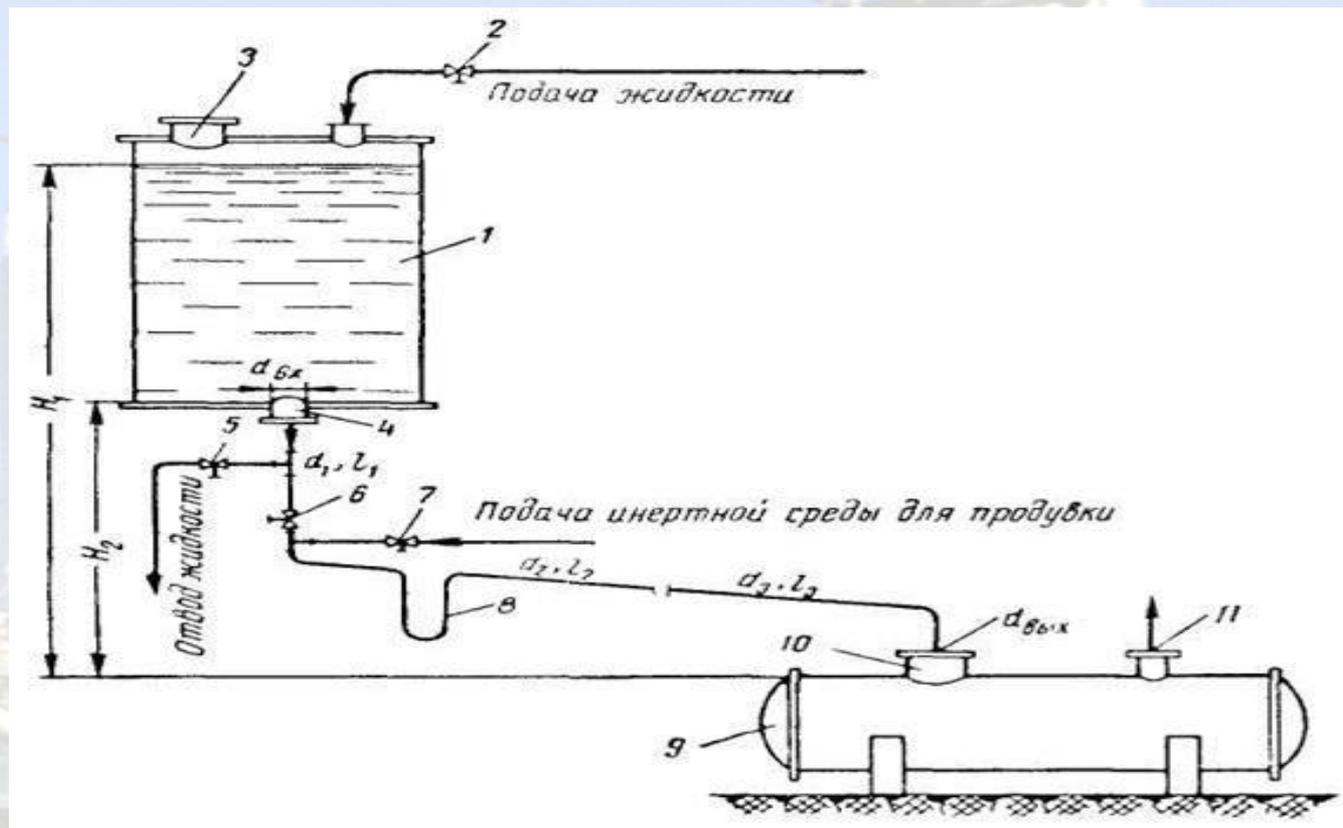
- Один аварийный резервуар может соединяться с несколькими емкостными аппаратами. В этом случае вместимость его должна быть не менее 30 % суммарного объема всех расходных резервуаров, но не менее емкости наибольшего из них.
- Аварийные резервуары выполняются закрытыми и снабжаются дыхательными трубами, выведенными в безопасное место и защищенными огнепреградителями.
- Днище аварийного резервуара делают с уклоном (для удаления воды).
- Аварийному сливу высоко нагретых жидкостей должна предшествовать продувка водяным паром или инертным газом внутреннего объема аварийного резервуара и сливной линии.



- На группу резервуаров или аппаратов целесообразно устанавливать один резервуар наибольшей вместимости. При этом трубопроводы должны укладываться с гидравлическим уклоном ($i=0,003$) – (падение полного напора вдоль потока жидкости, отнесённое к единице его длины; возникает вследствие гидравлического сопротивления течению жидкости) в сторону аварийного резервуара с установкой огнепреградителей, гидравлических затворов. Огнепреградители особенно насадочного типа применять нецелесообразно, т.к. они могут забиваться отложениями, и увеличивают гидравлическое сопротивление системы.
- Аварийные задвижки располагают, вне здания на 1-м этаже, вблизи выходов. Наиболее целесообразно автоматизированное включение аварийных задвижек, заблокированное с устройствами для аварийной остановки аппаратов или установок. Датчики систем открывания задвижек устанавливают в зоне возможного горения.



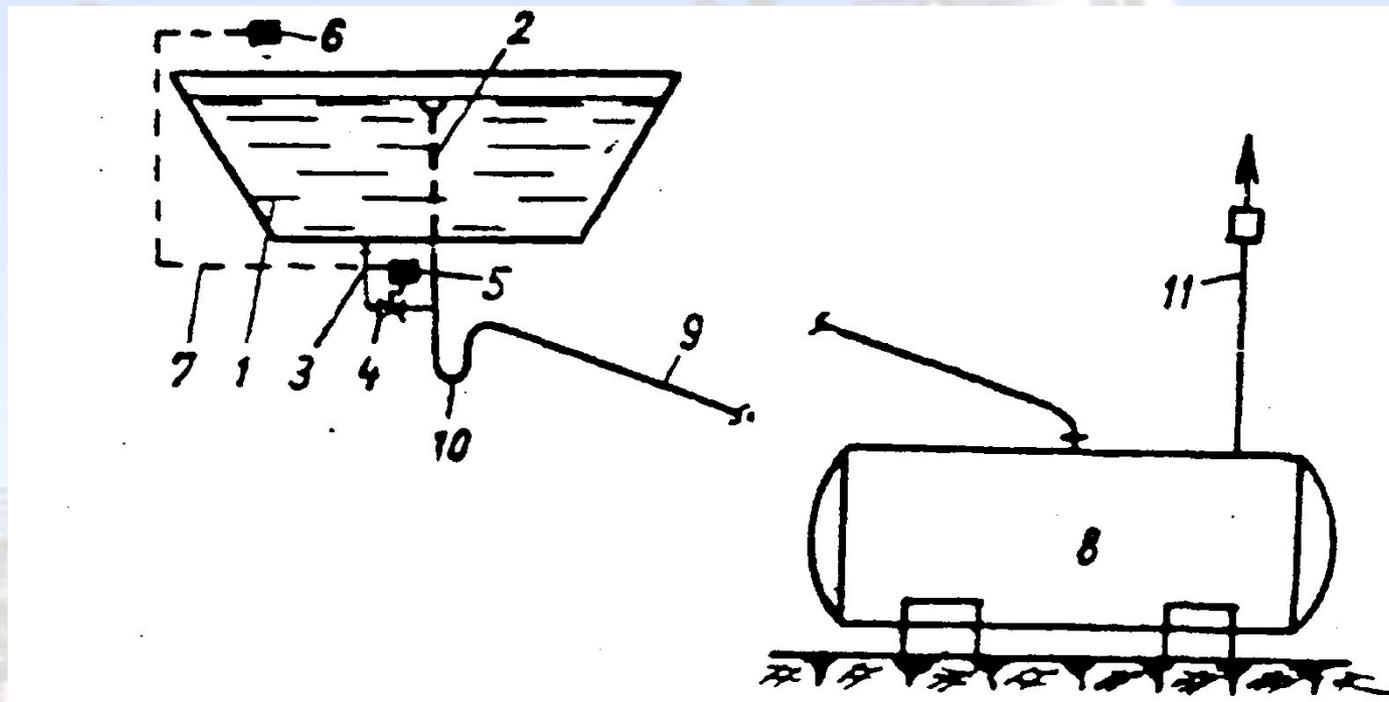
Аварийный слив жидкости самотёком



- 1 – опоражнимый аппарат; 2, 4-7 – задвижки; 3 – манометр;
8 – гидравлический затвор; 9 – аварийная емкость;
10 – приемная горловина; 11 – дыхательная линия



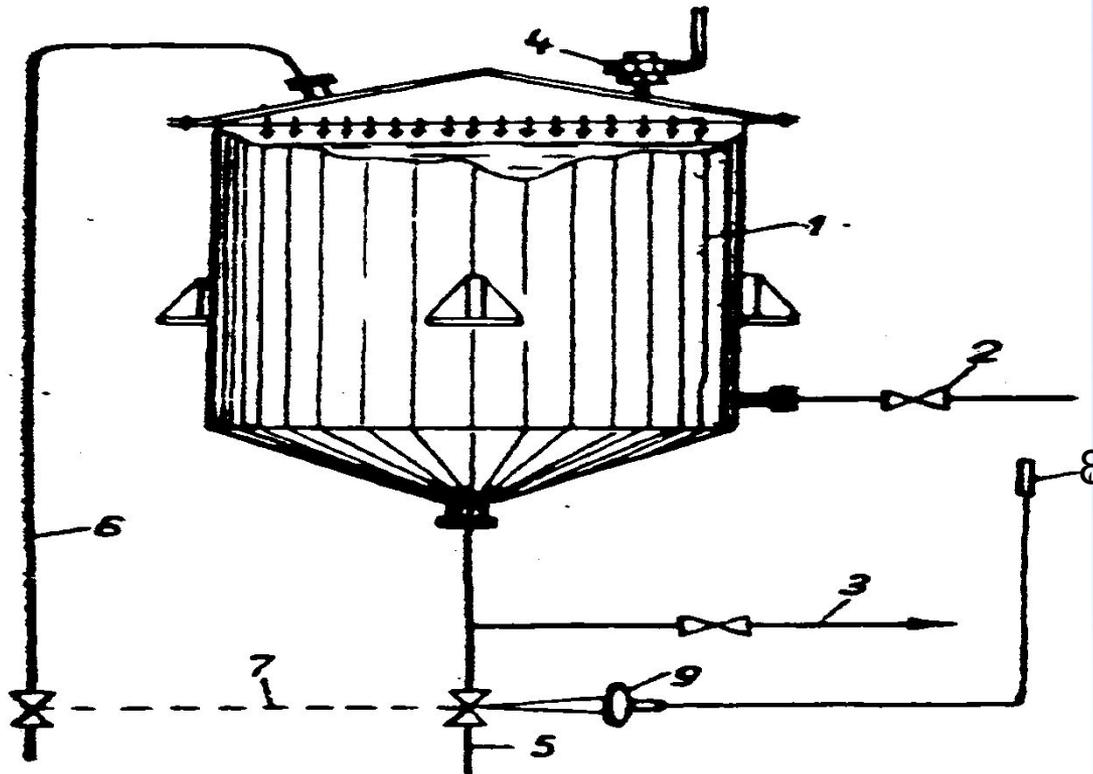
Схема аварийного слива жидкости из окрасочной ванны



- 1 — окрасочная ванна; 2 — переливная труба; 3 — аварийная линия;
4 — аварийная задвижка; 5 — привод задвижки; 6 — датчик;
7 — связь датчика с приводом задвижки; 8 — аварийная емкость;
9 — сливная линия; 10 — гидрозатвор; 11 — дыхательная



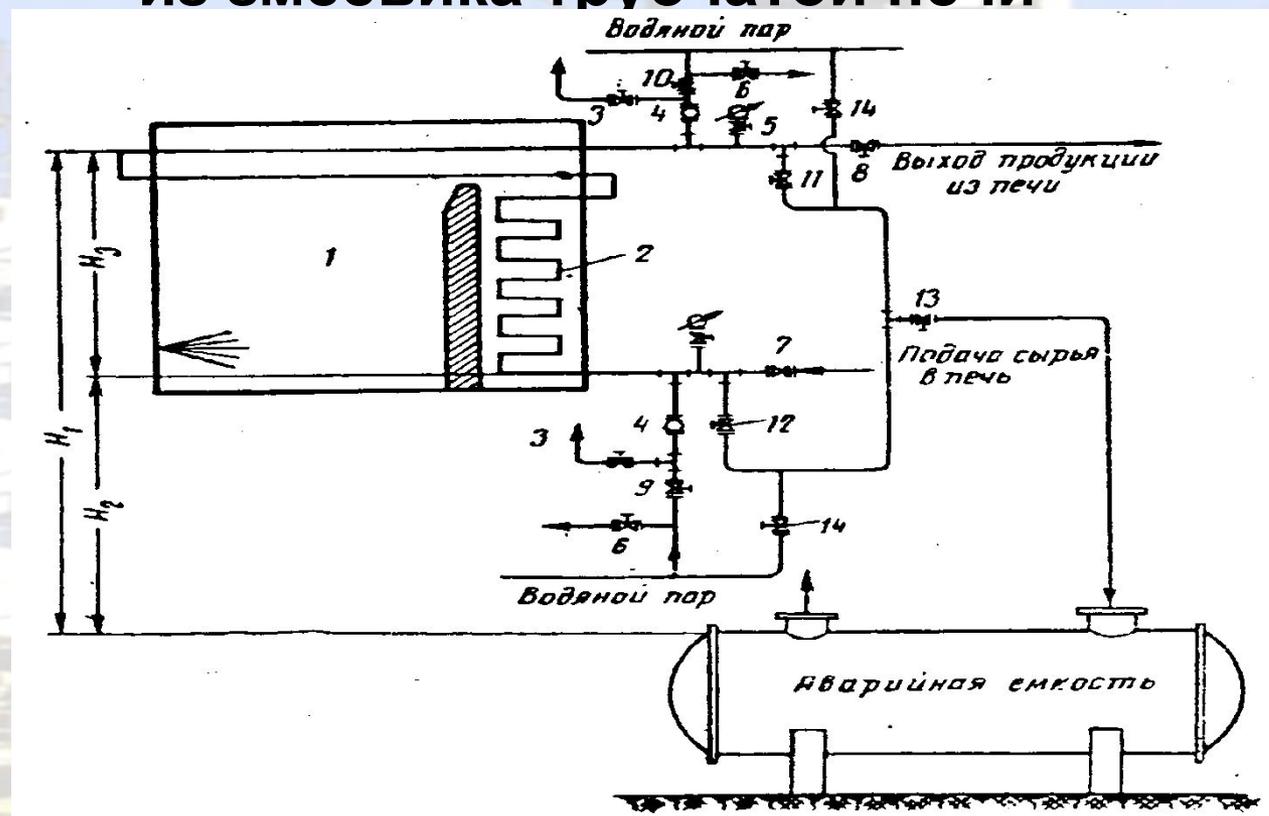
Аварийный слив из аппарата с подачей водяного пара



- 1 — опорожняемый аппарат; 2 — наполнительная линия; 5 — расходная линия;
4 — предохранительный клапан со свечой; 5 — линия аварийного слива;
6 — линия водяного пара; 7 — система блокировки задвижек; 8 — датчик;
9 — привод аварийной задвижки



Схема выдавливания нефтепродукта водяным паром из змеевика трубчатой печи



1—трубчатая печь; 2 — реакционные змеевик; 3 — контрольная трубка; 4 — обратный клапан; 5 — манометр; 6 — линия отвода конденсата; 7—14 — задвижки



Вопрос №1

Метод расчёта
размера сливных отверстий
в устройствах, ограничивающих розлив
горючих жидкостей



В методике существуют следующие предположения:

- При аварийной ситуации герметичность стенок аппарата не нарушается;
- Разрушаются только патрубки, лежащие ниже уровня жидкости в аппарате, образуя сливные отверстия, равные диаметру патрубков;
- Вероятность одновременного разрушения 2-х патрубков;
- Давление паров над поверхностью жидкости в аппарате в процессе слива жидкости не меняется



1. Исходные данные для расчета:

- Количество трубопроводов n , расположенных ниже уровня ГЖ в аппаратах и площадь их поперечного сечения $\sigma, \text{м}^2$
- Площадь поперечного сечения аппарата $F_a, \text{м}^2$
- Высота уровня жидкости над трубопроводами $H, \text{м}$
- Высота борта поддона $L, \text{м}$
- Интенсивность орошения водой, подаваемой из установок пожаротушения, площади поддона $I, \text{кг}/\text{м}^2\text{с}$
- Скорость выгорания ГЖ $W, \text{кг}/\text{м}^2\text{с}$
- Избыточное давление в аппаратах над поверхностью жидкости $p, \text{Н}/\text{м}^2$

Целью расчета является выбор площади поддона $F_{\text{п}}, \text{м}^2$, и расчет площади сливного отверстия $f, \text{м}^2$.



По исходным данным определить начальные расходы Q_i , $\text{м}^3/\text{с}$ жидкости из аппарата через отверстия, равные сечению трубопроводов, расположенных на аппарате, по формуле:

$$Q_i = \phi \cdot \sigma_i \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_i}$$

где: $\phi_i = 0,65$ - коэффициент истечения жидкости через отверстие;

σ_i - площадь сечения i -его трубопровода;

g - ускорение силы тяжести ($9,81 \text{ м/с}^2$);

H_i - высота уровня жидкости над i -м трубопроводом.



- По наибольшему из вычисленных начальных расходов Q_m выбрать площадь отверстия в аппарате σ и высоту уровня жидкости над ним H_0 .
- Из конструктивных соображений выбрать площадь поддона $F_d, \text{м}^2$.
- Определить значение параметра m :

$$m = \frac{F_a \cdot H_0}{F_n \cdot h_{\max}}$$

где: $h_{\max} = 0,8L$ – максимально допустимый уровень жидкости в поддоне.



- Вычислить объем жидкости, поступающей в поддон в единицу времени от установки пожаротушения $Q_0, \text{м}^3/\text{с}$ по формуле:

$$Q_0 = \frac{(I - W) \cdot F_n}{\rho}$$

где: ρ - плотность огнетушащей жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$

При отсутствии данных по скорости выгорания, то W следует принять равной нулю.

- Если $t < 1$, то площадь сливного отверстия определяется по формуле:

$$f = \frac{Q_0}{\varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\max}}}$$



• При $m \geq 1$ порядок расчёта f следующий:

а) вычислить напор создаваемых сжатыми газами в аппарате

$$H_p = \frac{p}{\rho \cdot g}$$

где: ρ - плотность воды, кг/м^3

б) вычислить значение параметра:

$$b = \ln \left[\sqrt{\frac{F_a \cdot (H_0 + H_p)}{F_n \cdot h_{\max}}} \left(1 + \frac{Q_0}{Q_{\max}} \sqrt{\frac{H_0}{H_0 + H_p}} \right) \right],$$

Q_{\max} - максимальный расход жидкости из аппарата

в) по b с помощью таблицы М.1 (ГОСТ Р 12.3.047)

необходимо найти a . Если данных для a

недостаточно, тогда a определяют путём решения

системы уравнений:

$$\begin{cases} b = \frac{\alpha}{th\alpha}, \\ a = ch\alpha. \end{cases}$$

г) рассчитать f , м^2 по формуле: $f = 2 \cdot a \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{F_n}{F_a}}$

д) выбрать сечения отходящих от поддона трубопроводов ft

из условия $ft > f$



Кафедра пожарной безопасности
технологических процессов и производств

Задача 1. Определить площадь поддона и площадь сливного отверстия



Условие задачи:

В производственном помещении вертикально установлен цилиндрический аппарат диаметром $D=1,5$ м и заполнен толуолом. Аппарат имеет 4 патрубка. Сечения патрубков и высоты уровней жидкости над ними представлены в табл.1:

Таблица 1

№ патрубка	$H_i, \text{м}$	$\sigma_i, \text{м}^2$
1	1,0	$3,1 \cdot 10^{-3}$
2	2,5	$0,5 \cdot 10^{-3}$
3	4,0	$1,13 \cdot 10^{-2}$
4	6,0	$0,785 \cdot 10^{-2}$



Нормативная интенсивность подачи воды от системы пожаротушения равна $j=0,5 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$.

скорость выгорания толуола $W=3,47 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м с}^2$.
Давление в аппарате атмосферное.

Предполагается под аппаратом установить поддон с высотой борта $L=0,3 \text{ м}$.

Необходимо найти площадь поддона F_n и площадь сливного отверстия f .



Решение:

1. Определим начальные расходы жидкости через патрубки №1-№4:

$$Q_1 = \phi \cdot \sigma_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}$$

где: $\phi_i = 0,65$ - коэффициент истечения жидкости через отверстие;

σ_i - площадь сечения i -его трубопровода;

g - ускорение силы тяжести ($9,81 \text{ м/с}^2$);

H_i - высота уровня жидкости над i -м трубопроводом.



$$Q_1 = 0.65 \cdot 3.1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 1} = 8.93 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_2 = 0.65 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 2.5} = 2.28 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_3 = 0.65 \cdot 1.13 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 4} = 6.5 \cdot 10^{-2}$$

$$Q_4 = 0.65 \cdot 0.785 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 6} = 5.54 \cdot 10^{-2}$$

Максимальный расход жидкости осуществляется через патрубков №3, где:

$$Q_{max} = 6.5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}; \quad \sigma = 1.13 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2, \quad H_3 = 4 \text{ м}$$



2. Рассчитаем площадь поперечного сечения аппарата:

$$F_a = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,77 \text{ м}^2$$

и, принимая сторону квадратного поддона большей на 1 м диаметра аппарата, найдем площадь поддона:

$$F_n = (D+1)^2 = 6,25$$



3. Определим m :

$$m = \frac{F_a H_j}{F_n h_{\max}} = \frac{1,77 \cdot 4}{6,25 \cdot 0,8 \cdot 0,3} = 4,72$$

где: $h_{\max} = 0,8L$ – максимально допустимый уровень жидкости в поддоне.

Т.к. $M > 1$, дальнейший расчет проводим по формуле (см. п. 4)

4. Вычислим с учетом скорости выгорания толуола объем воды, поступающий в поддон в единицу времени:

$$Q_0 = \frac{(j - W) \cdot F_n}{\rho} = \frac{(0,5 - 0,0347) \cdot 6,25}{1000} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$$



Так как $P=0$, то напор, создаваемый сжатыми газами над поверхностью жидкости $H_p=0$.

Определим b :

$$b = \ln \left[\sqrt{\frac{F_a \cdot H_j}{F_n \cdot h_{\max}}} \cdot \left(1 + \frac{Q_o}{Q_{\max}} \right) \right] = \ln \left[\sqrt{\frac{1,77 \cdot 4}{6,25 \cdot 0,8 \cdot 0,3}} \cdot \left(1 + \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{6,5 \cdot 10^{-2}} \right) \right] = 0,82$$

По таблице М1 (ГОСТ Р 12.3.047) по b находим $a=0,75$.

Рассчитаем площадь сливного отверстия f :

$$f = 2 \cdot a \cdot \sigma_j \cdot \sqrt{\frac{Fn}{Fa}} = 2 \cdot 0,75 \cdot 1,13 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{6,25}{1,77}} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

Выберем сечение трубопровода отходящего от поддона из условия

$$F_T > f$$



Вопрос №2

Метод расчета времени
слива горючих жидкостей



В общем случае продолжительность процесса аварийного слива из емкостей арматуры определяется зависимостью:

$$\tau_{ав.сл.} = \tau_{опор} + \tau_{опер} + \tau_{ав.реж.}$$

где: $\tau_{ав.сл.}$ - продолжительность аварийного слива, мин;

$\tau_{опор}$ - продолжительность опорожнения аппарата, мин;

$\tau_{опер}$ - продолжительность операций по приведению системы аварийного слива в действие, мин;

$\tau_{ав.реж.}$ - допустимая продолжительность аварийного слива, мин;



При истечении ГЖ из горизонтального резервуара самотёком время истечения жидкости из такого резервуара определяется по формуле:

$$\tau = \frac{4 \cdot L \cdot D_p^{1,5}}{3 \cdot \mu \cdot F_T \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

где: L - длина резервуара (аппарата);

F_T - площадь отверстия (трубопровода);

D_p - диаметр резервуара;

H - высота столба жидкости в резервуаре

μ - коэффициент истечения жидкости через отверстие



Рассмотрим вариант слива ГЖ из резервуара (аппарата) шаровой формы

Время опорожнения $\tau_{опор}$ может быть найдено по формуле:

$$\tau_{опор} = \frac{\rho^2}{250 \cdot \phi_{сист} \cdot d_{вых}} \cdot D^{0,5}$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

D - диаметр резервуара (аппарата), м;

$\phi_{сист}$ - коэффициент расхода системы



$\phi_{сист}$ - коэффициент расхода системы, определяемый по формуле:

$$\phi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi_{сист}}}$$

где $\xi_{сист}$ - коэффициент сопротивления системы, определяемый по формуле;

λ_i - коэффициент сопротивления трению для рассматриваемого участка трубопровода;

l_i, d_i - длина и внутренний диаметр участка трубопровода, м;

$d_{вых}$ - диаметр трубопровода на выходе в аварийную емкость, м;

ξ_j - коэффициент местного сопротивления на рассматриваемом участке системы слива;

λ принимается по табл.1



Кафедра пожарной безопасности
технологических процессов и производств

Слайд № 34



Таблица 1

<i>Внутр. диаме тр, мм</i>	63	76	89	101	127	152	200
λ	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	0,03	0,029



Задача 2: Обосновать расчетом выполнимость условия аварийного слива ГЖ из емкости

Условие задачи:

ГЖ – ацетон;

Емкость в сечении – квадрат со сторонами $a=1,5$ м;

Высота емкости $h=3$ м;

Степень заполнения емкости $\varepsilon=0,8$;

Нормативное время опорожнения $\tau_{\text{опор}}=900$ с;

Время принятия решения $\tau_{\text{опер}}=60$ с;

Расстояние от уровня жидкости до аварийной емкости

$H_1=6,5$ м;

Избыточное давление, создаваемое в аппарате $P_p=0,3$ МПа;

Внутренний диаметр трубопровода $d=101$ мм;

Длина всего трубопровода $l=80$ м;

Плотность жидкости при температуре 20 °С: $\rho_{\text{ж}}=790,5$ кг/м³;

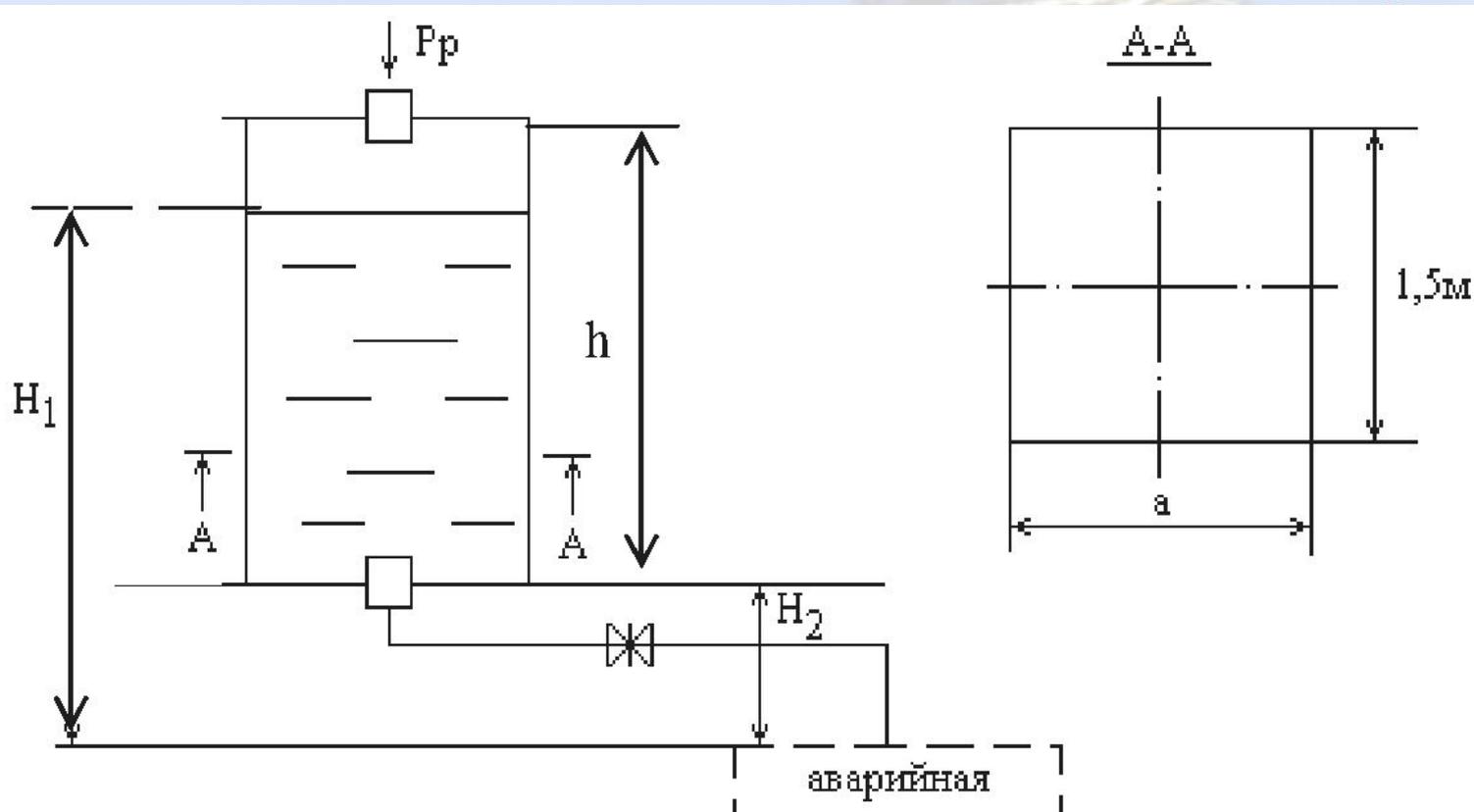


Схема оборудования

Рис. 10.



Решение:

По формуле для емкости постоянного по высоте сечения время опорожнения будет определяться:

$$\tau_{\text{опор}} = \frac{0,452 \cdot F \cdot \left(\sqrt{H_{\text{np1}}} - \sqrt{H_{\text{np2}}} \right)}{\varphi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вых}}},$$

где $F = a^2$;



$$f_{\text{вых}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (101 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,008 \text{ м}^2$$

$$P_{p1H} = P_p - 0,1 = 0,3 - 0,1 = 0,2 \text{ МПа}$$

$$H_{np1} = \frac{P_{p1H}}{\rho_{жс} \cdot g} + H_1 = \frac{0,2 \cdot 10^6}{790,5 \cdot 9,81} + 6,5 = 32,3 \text{ м}$$

$$H_2 = H_1 - h \cdot \varepsilon = 6,5 - 3 \cdot 0,8 = 4,1 \text{ м}$$

$$H_{np2} = \frac{P_{p1H}}{\rho_{жс} \cdot g} + H_2 = \frac{0,2 \cdot 10^6}{790,5 \cdot 9,81} + 4,1 = 29,9 \text{ м}$$

$$\varphi_{\text{сист}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi_{\text{сист}}}}$$

- коэффициент расхода системы, где $\xi_{\text{сист}}$ - коэффициент сопротивления системы



$$\sum_{i=1}^{n=7} \xi_i = 0,5 + 0,372 + 1,1 + 0,15 + 1,3 + 2,07 + 0,5 = 5,992$$

По справочным данным находим коэффициенты местных сопротивлений:

$\xi_1 = 0,5$ - прямой вход в сливной патрубков;

$\xi_2 = 0,372$ - внезапное сужение трубы (в месте аварийной врезки аварийного трубопровода);

$\xi_3 = 1,1$ - тройник для прямого потока;

$\xi_4 = 0,15$ - полностью открытая задвижка;

$\xi_5 = 1,3$ - гидравлический затвор;

$\xi_6 = 2,07$ - колено аварийного трубопровода;

$\xi_7 = 0,5$ - прямой вход в аварийную емкость.



По таблице 1 для трубопроводов $d=101\text{мм}$ принимаем $\lambda=0,032$ и подсчитываем коэффициент сопротивления системы аварийного слива:

$$\xi_{\text{сист}} = \frac{\lambda \cdot l}{d} + \sum_{i=1}^{n=7} \xi_i = \frac{0,032 \cdot 80}{0,101} + 5,992 = 31,33$$

Таблица 1

Внутр. диаметр r, мм	63	76	89	101	127	152	200
λ	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	0,03	0,029



Коэффициент расхода в системе аварийного слива определяется по формуле:

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi_{сист}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 31,33}} = 0,176$$

Определяем время опорожнения ёмкости по формуле:

$$\tau_{опор} = \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_{np1}} - \sqrt{H_{np2}})}{\varphi_{сист} \cdot f_{вых}} = \frac{0,452 \cdot 2,25 \cdot (\sqrt{32,29} - \sqrt{29,81})}{0,176 \cdot 0,008} = 166с$$

Общая продолжительность аварийного слива горючей жидкости из ёмкости с учётом операционного времени слива будет равно:

$$\tau_{сл} = \tau_{опор} + \tau_{опер} = 166 + 60 = 226с$$



Вывод:

Условие аварийного слива выполнено, так как общая продолжительность слива значительно меньше нормативного слива

$$226\text{с} < 900\text{с} \text{ т.е. } t_{\text{ав}} < [t_{\text{н.сл}}]$$



Задача № 3: Оценить диаметр аварийного самостоятельного трубопровода, при условии, что продолжительность опорожнения аппарата не должна превышать 300 сек.

Условие задачи:

Аварийный трубопровод имеет вход с главным закруглением, тройник для прямого потока, задвижку, гидравлический затвор, 4 плавных поворота с углом 90^0 при $R=5d_{тр}$.

Величина коэффициента местного сопротивления входу жидкости из трубопровода 0,5.

Объем сливаемой жидкости $V_{ж}=3м^3$; $H_1=7м$;
 $H_2=5 м$.



Решение:

Определяем коэффициент местных сопротивлений по справочным данным.

$\xi_{тр} = 1,2$ – для тройника;

$\xi_г = 1,3$ – для гидрозатвора;

$\xi_п = 0,5$ – 4-ре поворота;

$\xi_{вых} = 0,5$ – выхода жидкости;

$\xi_{вх} = 0,5$ – входа с острыми краями.



Находим суммарный коэффициент местных сопротивлений аварийного трубопровода:

$$\begin{aligned}\xi_{сист} &= \sum \xi_i = \xi_{вх} + \xi_{тр} + \xi_2 + n \cdot \xi_n + \xi_{вых} \\ &= 0,5 + 1,2 + 1,3 + 4 \cdot 0,5 + 0,5 = 5,5\end{aligned}$$

где: n – кол-во колен на трубопроводе.

Определяем коэффициент расхода системы по формуле:

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi_{сист}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 5,5}} = 0,39$$



Определяем диаметр аварийного трубопровода:

$$d_{тр} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_{ж}}{\tau \cdot \varphi_{сист} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}}$$

$$d_{тр} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{3}{300 \cdot 0,39 \cdot (\sqrt{7} + \sqrt{5})}} = 0,055 м = 55 мм$$