



Тема № 9.2. «Расчет систем аварийного слива жидкостей»

Учебные вопросы:

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



**КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
ПРОИЗВОДСТВ**



**Вопрос №1. Метод расчёта размера
сливных отверстий в устройствах,
ограничивающих розлив горючих
жидкостей**



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 **мала(отсутствует)**;
- Давление паров над поверхностью жидкости в аппарате в процессе слива жидкости не меняется



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 $D=1,5\text{ м}$ 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 $W=3,47 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^2 \text{ с}$. 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 .



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Решение:

Определим начальные расходы жидкости через патрубки

№1-№4:

$$Q = \varphi \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$\varphi=0.65$ – коэффициент истечения жидкости через отверстие

σ – площадь сечения трубопровода

g – ускорение свободного падения

H – высота уровня жидкости над трубопроводом

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

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

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

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



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



2. Рассчитаем площадь поперечного сечения аппарата:

$$F_a = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

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

$$F_n = (D+1)^2$$

3. Определим m (отношение объема жидкости в аппарате к объему жидкости в поддоне):

$$m = \frac{F_a H_o}{F_n h_{\max}}$$

H_o - высота уровня жидкости над патрубком, имеющим максимальный расход;

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

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

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

ρ - плотность огнетушащей жидкости;

j - интенсивность орошения водой (ОТВ);

W - скорость выгорания горючей жидкости в поддоне.



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Так как избыточное давление в аппарате = 0, то напор, создаваемый сжатыми газами над поверхностью жидкости $H_p = 0$.

Определим b :

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

По таблице К1(ГОСТ Р 12.3.047-12) по b находим a .
Рассчитаем площадь сливного отверстия f :

$$f = 2 \cdot a \cdot \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\frac{F_n}{F_a}}$$

Выберем сечение трубопровода отходящего от поддона из условия :

$$F_T > f$$



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
ПРОИЗВОДСТВ



Вопрос №2. Метод расчета времени
слива горючих жидкостей



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



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



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Рассмотрим вариант слива ГЖ из резервуара (аппарата) шаровой формы
Время опорожнения $\tau_{опор}$ может быть найдено по формуле:

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

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

D - диаметр резервуара (аппарата), м;

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

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

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

λ_i - коэффициент сопротивления трению для рассматриваемого участка трубопровода
(λ принимается по табл.1);

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

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

ξ_i - коэффициент местного сопротивления на рассматриваемом участке системы
слива;



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Таблица 1. Коэффициент сопротивления трению для рассматриваемого участка трубопровода

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

Коэффициенты местных сопротивлений:

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

$\xi_2 = 0,372$ - 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.



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

Условие задачи:

Вещество – ацетон;

Емкость в сечении – квадрат со сторонами $a=1,5\text{м}$;

Высота емкости $h=3\text{м}$;

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

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

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

Расстояние от уровня жидкости до аварийной емкости $H_1=6,5\text{м}$;

Избыточное давление, создаваемое в аппарате $P_p=0,3\text{МПа}$;

Внутренний диаметр трубопровода $d=101\text{мм}$;

Длина всего трубопровода $l=80\text{м}$;

Плотность жидкости при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$: $\rho_{\text{ж}}=790,5\text{ кг/м}^3$;

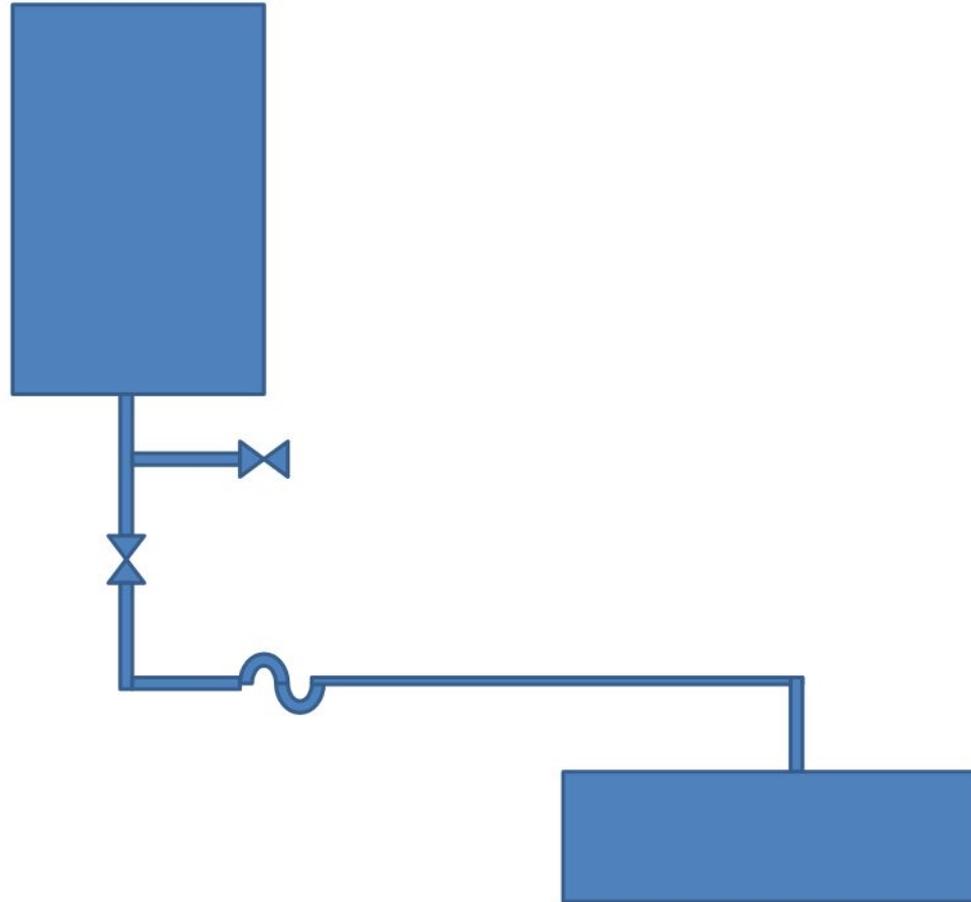


КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Кафедра ПБТ





КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Решение:

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

$$\tau_{\text{опор}} = \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_{\text{нр1}}} - \sqrt{H_{\text{нр2}}})}{\varphi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вых}}}, \text{ где } F = a^2;$$

$$f_{\text{вых}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$P_{\text{р1H}} = P_{\text{р}} - 0,1$$

$$H_{\text{нр1}} = \frac{P_{\text{р1H}}}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} + H_1$$

$$H_2 = H_1 - h \cdot \varepsilon$$

$$H_{\text{нр2}} = \frac{P_{\text{р1H}}}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} + H_2$$

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



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



$$\xi_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^{n=7} \xi_i$$

По справочным данным находим коэффициенты местных сопротивлений:

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

$\xi_2 = 0,372$ - 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.



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



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

$$\xi_{\text{сист}} = \frac{\lambda \cdot l}{d} + \sum_{i=1}^{n=7} \xi_i$$

Коэффициент расхода в системе аварийного слива определяется по формуле:

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

Определяем время опорожнения ёмкости по формуле:

$$\tau_{\text{опор}} = \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_{\text{нр1}}} - \sqrt{H_{\text{нр2}}})}{\phi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вых}}}$$

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

$$\tau_{\text{сл}} = \tau_{\text{опор}} + \tau_{\text{опер}}$$



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



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° при $R=5d_{mp}$. Величина коэффициента местного сопротивления входу жидкости из трубопровода 0,5. Объем сливаемой жидкости $V_{ж}=3м^3$; $H_1=7м$; $H_2=5м$.

Решение:

Определяем коэффициент местных сопротивлений по справочным данным.

$\xi_{mp} = 1,2$ – для тройника;

$\xi_z = 1,3$ – для гидрозатвора;

$\xi_{п} = 0,5$ – 4-ре поворота;

$\xi_{вых} = 0,5$ – выхода жидкости;

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



КАФЕДРА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ



Находим суммарный коэффициент местных сопротивлений аварийного трубопровода:

$$\xi_{сист} = \sum \xi_i = \xi_{вх} + \xi_{тр} + \xi_z + n \cdot \xi_n + \xi_{вых}$$

где: n – кол-во колен на трубопроводе.

Определяем коэффициент расхода системы по формуле:

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

Определяем диаметр аварийного трубопровода:

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