МЧС РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский институт Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Кафедра пожарной безопасности технологических процессов и производств (в составе учебно-научного комплекса обеспечения пожарной безопасности объектов и населенных пунктов)

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Методические рекомендации

по выполнению контрольной работы

для направления подготовки

20.04.01 Техносферная безопасность

(уровень магистратуры)

Екатеринбург
2021

ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа состоит из двух частей, первая часть включает теоретические вопросы, а вторая расчетное задание. Работа выполняется в тетради, страницы которой пронумерованы, рукописным способом (пастой синего, черного или фиолетового цвета) или на компьютере. Работа должна быть напечатана на одной стороне листа белой бумаги форматом А4. Рекомендуемый шрифт *Times New Roman,* размер 14, межстрочный интервал - 1,5.

Текст работы следует печатать, соблюдая следующие размеры полей; левое - 30 мм, правое - 10 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Следует включить режим выравнивание по ширине и автоматический перенос слов.

На каждой странице необходимо оставлять поля и в конце работы 1-2 листа для рецензии. Текст должен быть написан аккуратно, грамотно, разборчивым почерком.

В работе указывается название вопроса и дается четкий, конкретный ответ на него. Ответы на теоретические вопросы должны показать знание слушателем не только основной, но и дополнительной литературы.

В конце контрольной работы указывается используемая литература, ставится дата и подпись слушателя.

Текст полностью написанной и оформленной работы подлежит тщательной проверке. Ошибки и описки как в тексте, так и в научно-справочном аппарате отрицательно сказываются на оценке.

Титульный лист работы должен содержать полное наименование вуза, название подразделения (факультет, кафедра), в котором выполнена работа, название темы, фамилию, имя, отчество автора, фамилию, инициалы и ученую степень (звание) научного руководителя, наименование места и год выполнения.

Оглавление представляет собой составленный в последовательном порядке список всех заголовков разделов работы с указанием страниц, на которых соответствующий раздел начинается.

Перечень условных обозначений. Малораспространенные сокращения, условные обозначения, символы, единицы и специфические термины должны быть представлены в виде отдельного перечня. Перечень должен располагаться столбцом, в котором слева в алфавитном порядке приводятся элементы перечня, справа — их детальная расшифровка.

Все части контрольной работы должны быть изложены в строгой логической последовательности и взаимосвязи. В конце каждого выполненного задания должны быть сформулированы краткие выводы, вытекающие их текста.

Библиография (список использованных источников). Список должен содержать перечень источников информации, используемых при выполнении контрольной работы, и их библиографическое описание. Список включает в себя: нормативные правовые акты, учебную литературу. В контрольной работе необходимо использовать не менее 5 источников.

Приложения. Приложения должны включать вспомогательный или

дополнительный материал, который загромождает текст основной части работы, но необходим для полноты ее восприятия и оценки практической значимости (копии документов, таблицы справочных данных, иллюстрации и т.д.).

Листы контрольной работы должны быть скреплены надлежащим образом степлером, прощиты нитью. Допускается использование пластиковых папок-скоросшивателей или папок с файлами.

При написании контрольной работы каждый обучающийся может получить индивидуальные консультации.

Работа имеет следующую структуру:

- титульный лист;
- оглавление;
- текст работы, структурированный по главам (параграфам, разделам);
- заключение;
- библиография (список источников);
- приложения (при необходимости).

Выполненная контрольная работа представляется в институт на проверку до экзаменационной сессии. Не зачтенная контрольная работа возвращается на доработку. На повторную проверку работа представляется с первоначальной отрецензированной не зачтенной работой и с доработанным материалом. Слушатели, получившие зачет по контрольной работе, защищают ее в порядке устной беседы с преподавателем. Слушатели, своевременно не сдавшие контрольную работу, к экзамену не допускаются.

Аттестация всех контрольных работ должна быть проведена до начала экзаменационной сессии.

Аттестация по контрольной работе производится в виде её защиты.

Защита контрольной работы имеет целью проверить качество самостоятельной работы студента над темой и его способности к творческой деятельности. Защита контрольной работы состоит из доклада студента в течение 5-6 минут, и ответов на поставленные преподавателем вопросы. В процессе беседы с магистрантом выясняется его теоретическая подготовка по данной теме, знание основной литературы, умение автора излагать и обосновывать результаты своей работы.

Решение об оценке контрольной работы принимается по результатам анализа предъявленной работы, доклада магистранта и его ответов на вопросы.

Магистрант, успешно защитивший контрольную работу, допускается к сдаче зачета.

К защите не допускаются работы полностью или в значительной части, выполненные не самостоятельно, т.е. путем механического переписывания первоисточников, учебников, другой литературы, работы, в которых выявлены существенные ошибки и недостатки, свидетельствующие о том, что основные вопросы темы не усвоены, а также контрольные работы с низким уровнем грамотности и несоблюдением правил оформления.

Контрольная работа оценивается преподавателем «зачтено/незачтено».

ВЫБОР ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ

Варианты заданий выбираются по сумме последней и предпоследней цифр зачетной книжки слушателя.

Например,

последняя цифра 9
предпоследняя цифра 8
сумма цифр 17
следовательно, у слушателя 17 вариант.

Или,

последняя цифра 0
предпоследняя цифра 9
сумма цифр 9
следовательно, у слушателя 9 вариант.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Выполнение контрольной работы следует начинать с общего ознакомления с темой (прочтение соответствующего раздела учебника, учебного пособия, конспектов лекций). Затем необходимо изучить нормативные акты и другие литературные источники, рекомендованные преподавателем.

Изложение материала должно быть кратким, точным, последовательным. Необходимо употреблять научные термины, избегать непривычных или двусмысленных понятий и категорий, сложных грамматических оборотов. Термины, отдельные слова и словосочетания допускается заменять принятыми текстовыми сокращениями. Рекомендуется включать в контрольную работу схемы и таблицы, если они помогают раскрыть основное содержание проблемы.

Текст теоретической части работы должен демонстрировать:

– знакомство магистранта с нормативными правовыми актами, основной литературой по рассматриваемым вопросам;

– умение выделить проблему и определить методы ее решения;

– умение последовательно изложить существо рассматриваемых вопросов;

– владение соответствующим понятийным и терминологическим аппаратом;

– приемлемый уровень языковой грамотности, включая владение функциональным стилем научного изложения.

В таблице 1 приведены номера теоретических вопросов, содержание которых необходимо осветить в контрольной работе.

Таблица 1

№ варианта	*Номера теоретических вопросов*	*№ варианта*	*Номера теоретических вопросов*
0	11, 21, 31	***10***	21, 32, 3
1	12, 22, 32	***11***	22, 33, 4
2	13, 23, 33	***12***	23, 34, 5
3	14, 24, 34	***13***	24, 35, 6
4	15, 25, 35	***14***	25, 36, 7
5	16, 26, 36	***15***	26, 37, 8
6	17, 27, 37	***16***	27, 38, 9
7	18, 28, 38	***17***	28, 1, 10
8	19, 29, 1	***18***	29, 2, 11
9	20, 30, 2	***-***	-

Перечень теоретических вопросов

1 Нормативные документы, регламентирующие пожарную безопасность технологических процессов.

2 Структура системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты.

3 Устройства, исключающие образование горючей среды внутри оборудования в период его нормальной работы: конструкция, принцип работы.

4 Устройства, исключающие образование горючей среды в помещении в период нормальной работы оборудования: конструкция, принцип работы.

5 Элементы проверочных расчетов технологического оборудования на прочность.

6 Назначение, схемы устройства и принципы работы обратных и скоростных клапанов.

7 Назначение и основные виды предохранительных клапанов.

8 Устройство, особенности расчета и эксплуатации предохранительных клапанов.

9 Виды, устройство, особенности расчета и эксплуатации температурных компенсаторов.

10 Назначение, особенности расчета и проектирования диска-отражателя.

11 Коррозия конструкционных материалов.

12 Виды коррозии. Примеры химической коррозии сталей в различных средах.

13 Выбор допускаемых напряжений для материала аппарата или трубопровода с пожаровзрывоопасными средами при оценке опасности повреждения оборудования.

14 Назначение и сущность проверочных расчетов технологического оборудования на прочность.

15 Основные технологические параметры процессов и их влияние на взрывопожарную опасность производств.

16 Флегматизация среды внутри аппаратов с горючей смесью инертными газами: виды флегматизаторов, сущность защитного действия.

17 Причины образования взрывоопасных концентраций внутри оборудования при пуске его в работу и остановке на осмотр (ремонт) и способы обеспечения пожарной безопасности.

18 Взрывопожарная опасность аварийной разгерметизации технологического оборудования.

19 Причины повреждения оборудования. Классификация видов воздействий на материал оборудования, приводящих к его повреждению.

20 Нарушение материального и теплового балансов аппарата: причины, опасность и способы обеспечения пожарной безопасности.

21 Попадание низкокипящей жидкости в высоконагретый аппарат: причины, опасность и способы обеспечения пожарной безопасности.

22 Опасность полного заполнения герметичного оборудования жидкостями.

23 Способы обеспечения пожарной безопасности. Допустимая степень заполнения аппаратов жидкостями.

24 Воздействие высокой температуры на материал оборудования: опасность прогара стенок оборудования.

25 Ппричины прогара теплообменного и способы обеспечения пожарной безопасности.

26 Воздействие низкой температуры на материал оборудования: опасность, причины переохлаждения стенок оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности.

27 Опасность коррозии материала оборудования и основные направления обеспечения пожарной безопасности.

28 Определение площади разлива и интенсивности испарения жидкости при расчетном обосновании категории помещения по взрывопожарной и пожарной опасности.

29 Классификация производственных источников зажигания. Условия, при которых источник тепла не станет источником вынужденного зажигания горючей смеси.

30 Нормативные требования по предотвращению появления в горючей среде источника зажигания.

31 Мероприятия и технические решения, направленные на исключение появления в горючей среде источников зажигания химической природы.

32 Защита от самовоспламенения, самовозгорания веществ и материалов.

33 Определение безопасной температуры нагрева веществ, материалов и поверхностей, исключающей самовозгорание горючих веществ и материалов.

34 Мероприятия, предупреждающие возможность интенсивного искрообразования при работе печей, карбюраторных и дизельных двигателей.

35 Способы обеспечения пожарной безопасности, исключающие появление источника зажигания в виде искр удара и трения.

36 Способы обеспечения пожарной безопасности аппаратов огневого действия.

37 Способы и технические решения, направленные на предотвращение перегрева подшипников, приводных лент, материалов

38 Наружная паровая завеса: назначение, особенности расчета и проектирования.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

При выполнении контрольной работы слушатель должен решить 5 задач. Примерная тематика задач, выполняемых в контрольной работе.

1. Разработка технического задания на проектирование устройств, исключающих образование горючей среды в период нормальной работы оборудования.
2. Разработка технического задания на проектирование устройств, предназначенных для защиты оборудования от разрушения.
3. Разработка технического задания на проектирование устройств, исключающих возможность распространения пламени из одного аппарата в другой.
4. Разработка технического задания на проектирование систем аварийной эвакуации горючих веществ в безопасную зону.
5. Разработка технического задания на проектирование мембранного устройства для защиты аппарата от разрушения при взрыве.
6. Разработка технического задания на проектирование устройств, предназначенных для защиты аппарата от повышения давления.

Решение задач необходимо сопровождать расшифровкой расчетных формул (пояснениями величин, входящих в формулы, и их размерностей в системе СИ), схемами устройств и аппаратов (по которым проводятся расчеты), ссылкой на литературные источники (с указанием страниц и номеров таблиц), из которых взяты справочные данные. По окончанию решения задачи должны быть сделаны выводы.

Задача 1. Подготовить техническое задание на разработку гравийного огнепреградителя (определить основные параметры огнерпеградителя), установленного на продувочной линии аппарата. Вид горючего вещества и другие данные принять по табл. 2. Давление в линии продувки близко к атмосферному ($1 \cdot 10^5 \, Па$).

Таблица 2

№ варианта	**5, 15, 25, 35**	**6, 16, 26, 36**	**7, 17, 27, 37**	**8, 18, 28, 38**	**9, 19, 29, 1**	**10, 20, 30, 2**	**11, 21, 31, 3**	**12, 22, 32, 4**	**13, 23, 33, 0**	**14, 24, 34**
Горючее вещество	н-бутан	Ацетилен	Аммиак	Метан	Оксид углерода (CO)	Пропан	Сероводород	Этан	Водород	Этилен
Температура смеси, °С	10	30	35	20	10	15	25	35	20	15
Расход горючей смеси, м^3/ч	100	150	200	250	300	175	225	275	325	125

Методика расчета гравийного огнепреградителя.

Производственные парогазовоздушные коммуникации защищают от распространения пламени сухими огнепреградителями: сетчатыми, кассетными, гравийными или металлокерамическими, основной расчетный параметр которых – критический диаметр канала огнепреграждающего элемента.

Ниже приводится методка расчета гравийного огнепреградителя.

1.Составляют уравнение сгорания в воздухе 1 моля горючего вещества и определяют концентрацию компонентов в исходной горючей смеси стехиометрического состава:

$$\varphi_Г = 1/\sum_{i=1}^{n} m_i \text{ и } \varphi_B = 1-\varphi_Г,$$

где $\varphi_Г$ - концентрация горючего компонента в исходной смеси стехиометрического состава, об. доли; m_1 - количество молей одного компонента в смеси; n - количество компонентов в смеси; φ_B - концентрация воздуха в сходной смеси.

Для горючих веществ, состоящих из атомов *C, H, O, Cl, Br, I* и *F*, определяют стехиометрический коэффициент при кислороде в уравнении сгорания:

$$\beta = n_c + (n_H - n_X)/4 - n_o/2.$$

где n_C, n_H, n_X, n_o - соответственно число атомов в молекулах горючего газа, водорода, галоидов и кислорода.

В этом случае:

$$\varphi_Г = 1/(1+4{,}84\beta).$$

2. Определяют удельную газовую постоянную исходной смеси R (смотри таблицу 3 , приложения), а так же её удельную теплоемкость c_p и

коэффициент теплопроводности λ (см. пример 5.6). По таблице 1 приложения находят нормальную скорость распространения пламени u_H.

3. Определяют критический диаметр каналов в слое гранул (гравия):

$$\delta_{кр} \le \frac{65R(t_p + 273)\lambda}{u_H c_p P_p},$$

где R - удельная газовая постоянная исходной смеси, *Дж/(кг·К)*; t_p - температура исходной смеси, ^0C; λ - коэффициент теплопроводности исходной смеси, *Вт/(м·К)*; u_H - нормальная скорость распространения пламени, *м/с*; c_p - удельную теплоемкость исходной смеси, *Дж/(кг·К)*; P_p - давление исходной смеси, *Па*.

4. Определяют фактический диаметр каналов в слое гранул d:

$$d = \delta_{кр} / K_б,$$

где $K_б$ - коэффициент безопасности; обычно принимают $K_б \ge 2$.

5. определяют диаметр гранул (гравия) насадки огнепреградителя $d_{гр}$

$d \times 10^3, м$	1	2	2,5	3	3,6	4	5	6,3	10
$d_{гр} \times 10^3, м$	2	3	4	5	6	7	8	9	15

6. Определяют плотность компонентов горючей смеси стехиометрического состава при рабочей температуре горючего вещества по формуле (2.9), воздуха по табл. 15 приложения или по формуле (2.9).

7. Определяют плотность исходной смеси при рабочей температуре ρ_t по формулам, приведенным в табл. 3 приложения.

8. Определяют вязкость компонентов горючей смеси при рабочей температуре:

горючего вещества (газа, пара)

$$\mu_Г = \mu_0 \frac{t_0 + C}{t_p + C} \sqrt{\left(\frac{t_p + 273}{t_0 + 273}\right)^3},$$

где $\mu_Г$ и μ_0 - коэффициенты динамической вязкости газа (пара) соответственно при рабочей t_p и при температуре t_0, при которой они приведены в справочной литературе, *Па·с*; значение коэффициента динамической вязкости и константы C некоторых веществ при температуре $t_0 = 0^0 C$ приведены в табл. 10 приложения; воздуха μ_B - по табл. 15 приложения.

9. Определяют вязкость двухкомпонентной горючей смеси при рабочей температуре:

$$\mu = \frac{\varphi_Г M_Г + (1 - \varphi_Г) M_B}{\varphi_Г M_Г \mu_B + (1 - \varphi_Г) M_в \mu_Г} \mu_Г \mu_B,$$

где индекс «г» имеет отношение к горючему веществу; индекс «*В*» имеет отношение к воздуху; молекулярная масса компонента; M_B – молекулярная масса воздуха M =28,96*кг/моль*; μ - коэффициент динамической вязкости, *ПА·о;*. При стехиометрической концентрации горючего вещества в исходной

горючей смеси 5% об. вязкость, плотность и другие показатели горючей смеси можно принимать по воздуху.

10. По табл. 21 приложения по диаметру грану и их материалу находят удельную поверхность S в $м^2/м^3$ и свободный объем ε гранул.

11. Дальнейшие расчеты проводят с использованием метода последовательных приближений, для чего задаются значением фиктивной скорости $\omega_ф$; обычно принимают $\omega_ф = 0{,}2-1{,}5 м/с$.

12. Определяют число Рейнольдса для газового потока в пористом слое гранул :

$$Re = \frac{4\omega_ф \rho_t}{\mu S}.$$

13. Определяют коэффициент гидравлического сопротивления слоя гранул $\lambda_Г$ в гравийном огнепреградителе в зависимости от числа R_e:

при $Re \le 40$ $\lambda_Г = 140/Re$,

при $Re > 40$ $\lambda_Г = 16/Re^{0,2}$.

14. Определяют эквивалентный диаметр огнегасящих каналов в слое гранул:

$$d_э = 4 \cdot \varepsilon / S, м.$$

15. Принимают высоту слоя гранул в огнепреградителе Н:

$$H=(40\text{-}50)d_{гр}, м.$$

16. Уточняют значение фиктивной скорости горючей среды в насадке огнепреградителя

$$\omega_ф^{'} = 1{,}41\varepsilon\sqrt{\frac{\Delta P \cdot d_э}{\lambda_r H \rho_t}},$$

где ΔР – потери напора в слое гранул, Па; потери напора не должны превышать 100-200 Па.

17. Определяют ошибку при задании фиктивной скорости:

$$\theta_\omega = \frac{\left|\omega_ф^{'} - \omega_Ф\right|}{\omega_Ф} 100\%.$$

Если ошибка не превышает 5%, считают значение $\omega_ф$ истинным и продолжают расчеты, начиная с п. 17.

Если $\theta_\omega \ge 5\%$, то задаются новым значением фиктивной скорости:

при $\omega_Ф > \omega_Ф^{'}$ $\omega_Ф^{''} \approx 0{,}9\,\omega_Ф^{'}$

при $\omega_Ф < \omega_Ф^{'}$ $\omega_Ф^{''} \approx 1{,}1\,\omega_Ф^{'}$

и повторяют расчеты, начиная с п. 12, до тех пор, пока ошибка при определенной фиктивной скорости не снизится до величины θ_ω <5%.

18. Определяют диаметр корпуса огнепреградителя D как наибольшую величину из следующих двух значений:

$$D = \max\left[\sqrt{\frac{4Q}{\pi\omega_Ф}}; 20 d_{гр}\right],$$

где Q - расход горючей смеси в защищаемом трубопроводе, $м^3/с$.

19. Определяют действительную скорость газовой смеси в огнепреградителе:

$$\omega = \omega_{\Phi} / \varepsilon .$$

20. Проверяют потери напора в слое гранул огнепреградителя:

$$\Delta P' = \lambda \frac{H}{d_э} \cdot \frac{\omega^2}{2} \rho_t .$$

21. определяют ошибку при вычислении потерь напора:

$$\theta_p = \frac{\left|\Delta P - \Delta P'\right|}{\Delta P} 100\% .$$

При θ_ω<5% расчет считаются законными. При θ_ω≥5% расчеты повторяют с п. 16, приняв новое значение:

$$\Delta P'' \left(\Delta P + \Delta P'\right) / 2 .$$

22. Результаты расчетов параметров огнепреградителя (техническая характеристика) оформить в виде технического задания на проектирование:

горючее вещество;

критический диаметр каналов $d_{Кр}, м;$;

диаметр гранул $d_{ГР}, м;$

высота слоя гранул $H, м;$

диаметр корпуса огнепреградителя $D, м;$

сопротивление слоя насадки $\Delta P, Па.$

<u>Задача 2.</u> Предложить тип наружной паровой завесы для защиты технологической трубчатой печи нефтеперерабатывающей установки и произвести ее расчетное обоснование. Размеры печи в плане (axb) приведены в табл. 3. Подводящий паропровод выполнен из труб диаметром $d_{вн}$, а его общая длина $E1_i$ приведена в табл. 4. Давление пара в паропроводной сети предприятия 0,7 МПа. Высоту печи и другие данные для расчета принять по варианту.

Таблица 3

№ варианта	**4, 9, 14, 1**	**5, 10, 15, 2**	**6, 11, 16, 3**	**7, 12, 17, 0**	**8, 13, 18**
Axb, м	12x8	10x6	14x8	24x10	18x10
$E1_i$, м	120	140	160	180	200

Таблица 4

№ варианта	**5, 15, 25, 35**	**6, 16, 26, 36**	**7, 17, 27, 37**	**8, 18, 28, 38**	**9, 19, 29, 1**	**10, 20, 30, 2**	**11, 21, 31, 3**	**12, 22, 32, 4**	**13, 23, 33, 0**	**14, 24, 34**
Высота печи, м	6	8	10	12	14	7	9	11	15	18
Количество опасных сторон	4	3	3	2	2	4	3	3	2	1

Количество локальных опасных сторон	12	15	20	14	16	18	20	14	14	9
Диаметр каждой локальной стороны, м	0,6	0,5	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5
Количество поворотов на подводящем трубопроводе	4	6	8	8	4	6	5	12	7	5

Методика расчета наружной паровой завесы

Для предотвращения проникновения к печам или иным аппаратам огневого действия горючих паровоздушных смесей, образующихся при аварии на соседнем оборудовании, используются наружные паровые завесы, наружная паровая завеса может быть выполнена в двух вариантах:

-непрерывная отражающая завеса для защиты одной, трех или четырех сторон отдельной печи или блока печей;

-локальная флегматизирующая завеса для защиты на печи отдельных элементов или зон, представляющих опасность как источники зажигания;

Непрерывная отражающая завеса может быть одноярусной при высоте опасной зоны до 10 м и двухъярусные при высоте опасной зоны, превышающей 10 м. для создания паровой завесы вдоль опасной стороны печи (или опасных сторон) на уровне производственной площадки между ее границей и каркасом печи прокладывается перфорированный трубопровод. Ниже приводится методика расчета наружной паровой завесы трубчатой печи.

1. Принимают следующие фиксированные параметры работы наружной паровой завесы:

-давление (абсолютной) насыщенного водяного пара в коллекторе $P_к$- не менее $2*10^5$ Па;

-коэффициент расхода паропровода от коллектора до выхода водяного пара в атмосферу $\varphi_{сист}=0,6$;

-скорость истечения водяного пара через отверстие $\omega_п=200$ м/с;

-удельный расход пара $q_п=100$ кг/($м^2$*с);

-скорость атмосферного воздуха на более 1,5 м/с.

2. Исходя из конструктивных особенностей печи и ее размещения на производственной площадке, определяют высоту защищаемой зоны

$$H=H_{мах},$$

где $H_{мах}$- максимальное расстояние от нулевой отметки производственной площадки до наивысшей отметки печи или предельного по высоте места размещения возможного источника зажигания, а также длину перфорированного трубопровода L.

Перфорированный трубопровод прокладывают в пределах производственной площадки на нулевой отметки на расстоянии $l=0,25\ H_{мах}$ от каркаса печи. Велечину L можно оценить по формуле

$$L = (n+1)l + \sum_{i=1}^{n} a_i ,$$

где n-число защищаемых сторон печи; a_i-длина i-й защищаемой стороны, м.

3. Определяют диаметр выпускного отверстия в труьопроводе непрерывной отражающей завесы

$$d_n = 0{,}001 \text{ Н}.$$

4. Определяют расстояние между осями выпускных отверстии

$$1_n = 50\ d_n$$

5. Определяют количество отверстий в перфорированном трубопроводе

$$n_н = \frac{L}{1_н} + 1.$$

6. Определяют общий расход водяного пара в кг/с на создание непрерывной отражающей завесы

$$Q_н = 78{,}5\ d_n^2\ n_н.$$

7. Определяют внутренний диаметр трубы перфорированного паропровода непрерывной отражающей завесы

$$d_{вн} = 1{,}772\sqrt{d_н^{\,2} n_н}\,.$$

По таблице 22 приложения подбирают трубы для изготовления перфорированного паропровода, внутренний диаметр $d_{вн}$ которых определяют с учетом расчетной толщины стенок труб.

8. По рабочим чертежам печи выделяют виды защищаемых зон k и их количество n, а также их характерные размеры A_i.

9. определяют расстояние от выпускного отверстия локальной завесы до центра опасной зоны (горелки, взрывного клапана, люка-лаза и т. п.)

$$x_1 = 2\ A_i$$

где A_i- характерный размер (диаметр, длина, ширина) 1-й защищаемой зоны, м.

10. Определяют диаметр выпускного отверстия для каждой 1-й локальной зоны

$$d_{л1} = 0{,}01\ x_i.$$

11. Определяют общий расход водяного пара на создание локальных флегматизирующих завес для защиты всех опасных зон

$$Q_л = 78{,}5 \sum_{j=1}^{m} d_{л_1}^{\,2} n_i ,$$

где n_i- количество защищаемых зон одного вида; k-число видов защищаемых зон.

12. Сравнивают найденные величины $Q_н$ и $Q_л$. Если $Q_л > Q_н$, то локальную флегматизирующую завесу не следует применять. В противном случае ($Q_л < Q_н$) локальная завеса будет более экономичной в сравнении с непрерывной отражающей завесой.

13. Принимают диаметр подводящего паропровода, равный $d_{вн}$, и производят его трассировку от паропроводной сети предприятия до распределительного коллектора системы паровой защиты.

14. Определяют среднюю скорость движения водяного пара по подводящему паропроводу

$$w = \frac{Q}{0.785 d_{вн}^{\ 2} pt_{ср}},$$

где Q- общий расход водяного пара на создание непрерывной отражающей завесы($Q_н$) или локальной флегматизирующей завесы ($Q_л$), кг/с;

$pt_{ср}$- плотность насыщенного водяного пара при среднем давлении его в паропроводной сети предприятия и распределительном коллекторе

$$P_{ср} = \frac{P_n}{2} + 1 \cdot 10^5,$$

где P_n- давление пара в паропроводной сети предприятия, Па.

Значение величины $pt_{ср}=f(P_{ср})$ определяют по табл. 9 приложения.

15. Проверяют выполнение условия $\omega<50$ м/с. В случае, если данное условие выполняется, расчет продолжают дальше, начиная с п. 16. В противном случае ($\omega\geq50$ м/с) задаются новым, увеличенным внутренним диаметром паропровода и повторяют расчет, начина с п. 14.

16. Определяют число Рейнольдса

$$R_e=\omega\, d_{вн}/v,$$

где v- коэффициент кинематической вязкости водяного пара в $м^2/с$, принимаемый по табл. 9 приложения.

17. В зависимости от величины числа R_e определяют коэффициенты сопротивления трения λ по формулам, приведенным в п. 1 §1,4.

18. Определяют количество, виды местных сопротивлений, по табл. 18. приложения находят значение местных сопротивлений и определяют суммарный коэффициент местных сопротивлений

$$\zeta_c = \sum_{j=1}^{n} N\zeta_i,$$

Где N-количество местных сопротивлений одного вида; ζ_i-численное значение 1-го коэффициента; n- число видов местных сопротивлений.

19. Определяют коэффициент сопротивлений паропровода

$$\zeta_{сист} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{вн}} \sum_{j=1}^{n} 1_i,$$

Где 1_i-длина 1-го линейного участка паропровода, м; n-число линейных участков.

20. Определяют потери давления в подводящем паропроводе ΔP

$$\Delta P = \zeta_{сист} \frac{\omega^2 pt_{ср}}{2}$$

21. Определяют допустимые потери давления в подводящем паропроводе $[\Delta P]$

$$[\Delta P] = P_n - P_k.$$

22. Сравнивают фактические потери давления в трубопроводе с допустимыми.

При $\Delta P < [\Delta P]$ расчеты завершены. В противном случае ($\Delta P \geq [\Delta P]$) необходимо: 1) задаться новым, увеличенным диаметром паропровода; 2) выполнить трассировку паропровода с меньшим количеством местных

сопротивлений или 3) подсоединить распределительный коллектор к паропроводной сети предприятия с большим давлением водяного пара $P_п$ и повторить расчеты, начиная с п. 14.

23. Результаты расчета наружной паровой завесы (техническая характеристика) представить в виде технического задания на проектирование:

-давление пара в коллекторе $P_к$, Па;

-скорость истечения водяного пара через отверстия $\omega_п$, м/с;

-удельный расход пара $q_п$, кг/(м^2·с):

-для непрерывной отражающей завесы:

а) высота защищаемой зоны H, м;

б) количество ярусов;

в) длина перфорированного трубопровода L, м;

г) диаметр выпускных отверстий $d_н$, м;

д) количество отверстий $n_н$;

е) расстояние между отверстиями $1_н$, м;

ж) общий расход пара $Q_н$, кг/с;

Для локальных завес:

а) виды опасных зон и их характерные размеры A_i, м;

б) расстояние от выпускных отверстий до центров опасных зон x_i, м;

в) диаметр выпускных отверстий $d_л$, м;

г) расход пара $Q_л$, кг/с;

-диаметр подводящего паропровода $d_{вн}$, м;

-давление пара в подводящем паропроводе $P_п$, Па;

-потери давление в подводящем паропроводе ΔP, Па.

<u>Задача 3</u>. Произвести поверочный расчет самотечной системы аварийного слива из вертикальных цилиндрических аппаратов. При необходимости предложить обоснованные расчетом мероприятия, направленные на обеспечение условия выполнимости аварийного слива. Данные для расчетов в табл. 5 и 6. Трассировка трубопровода аварийного слива и длины его линейных участков приведены по варианту.

Таблица 5

№ варианта	**3, 8, 13, 18**	**4, 9, 14, 1**	**5, 10, 15, 2**	**6, 11, 16, 0**	**7, 12, 17**
Допустимая продолжительность аварийного режима, мин	10	12	15	18	20
Привод системы в действие	ручной	Автомат.	ручной	Автомат.	ручной

Таблица 6

№ варианта		**5, 15, 25, 35**	**6, 16, 26, 36**	**7, 17, 27, 37**	**8, 18, 28, 38**	**9, 19, 29, 1**	**10, 20, 30, 2**	**11, 21, 31, 3**	**12, 22, 32, 4**	**13, 23, 33, 0**	**14, 24, 34**
Продукт		Ацетон	Метанол	Бензол	Ацетон	Толуол	Уксусная к-та	Бензол	Этанол	Толуол	Метанол
Рабочая температура, °С		15	20	15	20	25	30	20	25	15	15
Допустимое (абсолютное) давление в аппарате, МПа		0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4
Аппарат	Диаметр, м	1,2	1,1	1,8	2,4	1,6	1,5	1,5	1,2	2,2	3,2
	Высота, м	2,0	1,8	2,0	2,2	1,8	2,1	2,5	2,0	2,6	3,0
	Степень заполнения	0,8	0,7	0,75	0,9	0,8	0,85	0,65	0,6	0,7	0,6
Количество одновременно сливаемых аппаратов		3	4	2	1	3	3	3	4	2	1
Состояние аварийного трубопровода		Новые стальные трубы					Старые стальные трубы				

Примечание. 1 Длины участков трубопровода в м: 1_1=0,5; 1_2=2,6; 1_3=2D; 1_4=0.5D+1.0; 1_5=5.4; 1_6=1.5; 1_7==2.0; 1_8=5.6; 1_9=0.6;

2. Внутренний диаметр аварийного трубопровода $d_{вн}$ =80 мм, толщина стенки 3мм.

Методика расчета системы аварийного слива

Для ограничения развития пожара на производстве применяется аварийный слив огнеопасных жидкостей из аппаратов, оказавшихся в опасной зоне. Аварийный слив осуществляется самотеком или путем выдавливания жидкостей из аппаратов сжатым (инертным) газом. Основным расчетом параметром системы аварийного слива является продолжительность опорожнения аппаратов от пожароопасной жидкости. Методика определения

продолжительности опорожнения аппаратов, расположенных на одной высотной отметке, приведена ниже.

1. Определяют объем сливаемой из аппаратов жидкости

$$V_{ж} = \sum_{j=1}^{n} V_i \varepsilon_i ,$$

где V_i-геометрический объем 1-го опорожняемого аппарата, $м^3$; ε_i-степень заполнения 1-го аппарата; n-число одновременно опорожняемых аппаратов.

2. Приводят трассировку аварийного трубопровода от опорожняемых аппаратов до аварийной емкости, определяют длину линейных участков (вертикальных, горизонтальных, наклонных), количество и виды местных сопротивлений. По табл. 18 приложения находят значения коэффициентов местных сопротивлений.

3. Определяют суммарный коэффициент местных сопротивлений

$$\zeta_c = \sum_{j=1}^{n} N_i \zeta_i ,$$

где N_i-количество местных сопротивлений одного вида; ζ_i-численное значение 1-го коэффициента; n-число видов местных сопротивлений.

4. Определяют расстояние (по вертикали) от уровня жидкости в опорожненном аппарате в начале слива до выходного сечения аварийного трубопровода в аварийной емкости H_1 и от выпускного отверстия аппарата до выходного сечения аварийного трубопровода в аварийной емкости H_2.

5.Определяют максимально допустимую продолжительность аварийного опорожнения аппарата

$$\tau_{опор.м} = [\tau]_{сл} - \tau_{опер.},$$

где $\tau_{опор.м}$- максимально допустимая продолжительность аварийного сопротивления аппарата, с; $[\tau]_{сл}$ -допустимая продолжительность аварийного режима, с; $[\tau]_{сл}$ обосновывается расчетом, исходя из огнестойкости строительных конструкций и оборудования, продолжительности выгорания жидкости или среднего времени вызова пожарных подразделений; в большинстве случаев принимают $[\tau]_{сл} \leq 900$с; $\tau_{опер}$- продолжительность операции по приведению системы в действие, которая на действующем производстве складываются из времени: обнаружения аварийной $\tau_{об.\,п.}$ принятия решения $\tau_{п.р.}$ продувки (при необходимости) системы инертным газом $\tau_{пр}$ и открывания приводных задвижек $\tau_{п.а}$:

$$\tau_{опер} = \tau_{об.\,п.} + \tau_{п.р} + \tau_{пр} + \tau_{п.а} .$$

При проектировании системы аварийного слива обычно применяют: при ручном пуске системы в действие $\tau_{опер.р}$ =300с и при автоматическом пуске $\tau_{опер.а}$ =120с.

6. Дальнейшие расчеты проводят с использованием метода последовательных прибавлений, для чего оценивают коэффициент расхода системы аварийного слива

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1 + 3\zeta_c}} .$$

7. Определяют диаметр аварийного трубопровода $d_{тр}$

$$d_{тр} = 0{,}758\sqrt{\frac{V_{ж}}{\tau_{опор.м}\varphi_{сист}\left(\sqrt{H_1}+\sqrt{H_2}\right)}}.$$

8. По табл. 2. приложения подбирают трубу для устройства линейной части системы аварийной слива, толщину стенок которых определяют с учетом давления жидкости в них или давления продувочного газа по методике, изложенной в § 1.4 (п. 7 и 11). Внутренний диаметр труб принимают равным не менее 100м.

Определяют площадь проходного сечения труб системы аварийного слива и выходного патрубка аппарата

$$f_{тр}=f_{вых}=0{,}785\ d_{вн}^2$$

где $d_{вн}$ -внутренний диаметр трубопровода, м;

9. Определяют среднюю скорость движения жидкости по аварийному трубопроводу при сливе

$$\omega = 2{,}22\varphi_{сист}\left(\sqrt{H_1}+\sqrt{H_2}\right).$$

10. Находят плотность сливаемой из аппарата жидкости pt (кг/м^3) при рабочей температуре по табл. 4 приложения и ее вязкость μt (Па·с) по табл. 11 приложения.

11. Определяют Значения критерия Рейнольдса

$$Re=\omega d_{вн}\ pt/\mu t.$$

12. В зависимости от величины числа Re определяют коэффициенты сопротивления трения линейных участков трубопровода λ по формулам, приведенным в п. 1 § 1.4.

13. Определяют коэффициент сопротивления системы

$$\zeta_{сист} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{вн}}\sum_{j=1}^{n} 1_i .$$

где 1_i-длина 1-го линейного участка трубопровода, м; n- число линейных участков.

14. Определяют уточненное значение коэффициента расхода системы $\varphi_{сист}$,

$$\varphi_{сист},= \sqrt{\frac{1}{1+4\zeta_{сист}}}.$$

15. Определяют ошибку при оценке коэффициента расхода системы

$$\theta_{\varphi} = \frac{\left|\varphi_{сист},-\varphi_{сист}\right|}{\varphi_{сист}}100\%.$$

Если ошибка не превышает 5%, считают значение $\varphi_{сист}$, истинным и продолжают расчеты, начиная с п. 16.

Если $\theta\varphi \geq 5\%$, то задается новым значением коэффициента расхода системы

$\varphi_{сист},,=0{,}5\ (\varphi_{сист},+\ \varphi_{сист})$

и повторяют все расчеты с п. 7 до тех пор, пока θφ станет меньше 5%.

16. Определяют продолжительность опорожнения аппарата. Для аппарата постоянного по высоте сечения (вертикальный цилиндрический аппарат,

аппарат с квадратным или прямоугольным основанием и параллельными стенками и пр.)

$$\tau_{опор} = \frac{0{,}452F\left(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}\right)}{\varphi_{сист} f_{вых}},$$

где F-площадь поперечного сечения аппарата, м^2.

17. Проверяют условие выполнения аварийного слива. При $\tau_{опор} + \tau_{опер} \leq [\tau]_{сл}$ расчет системы аварийного слива считает законченным.

Если это условие не выполняется, необходимо осуществить следующие мероприятия (одно или совместно):

-вместо ручного привода системы аварийного слива в действие обеспечить его автоматический привод (произвести проверочный расчет системы, начиная с п. 5);

-увеличить диаметр аварийного трубопровода (произвести поверочный расчет системы, начиная с п. 11);

-подобрать оптимальный вариант размещения аварийной емкости, обеспечив минимальную длину линейной части трубопровода при минимуме местных сопротивлений (провести поверочный расчет, начиная м п. 13.);

-предложить аварийный слив путем выдавливания жидкости (провести поверочный расчет, начиная с п. 4). В этом случае величины H_1 и H_2 определяют следующим образом:

$$H_1 = \frac{P_{р.н}}{pt \cdot g} \text{ и } H_2 = \frac{P_{р.к}}{pt \cdot g},$$

где $P_{р.н}$ и $P_{р.к}$ –избыточное давление инертного газа соответственно в начале и конце опорожнения аппарата, Па; давление инертного газа не должно превышать допустимого по условиям прочности давления в аппарате и трубопроводе (см. § 1.4); g=9,81 м/с^2- ускорение силы тяжести.

18. Определяют объем аварийной емкости

$V_а$=Vж/ε,

где ε-степень заполнения аварийной емкости жидкостью; принимают ε=0,8-для ЛВЖ и ε=0,9-для ГЖ.

19. Результаты расчета системы аварийного слива (указать вид инертного газа и его давление в линии) представить в виде технического задания на проектирование;

-рабочее давление в аппарате $P_р$, Па;

-Объем сливаемой жидкости $V_ж$, м$^{3;}$

-пожароопасная жидкость;

-Допустимая продолжительность аварийного режима $[\tau]_{сл}$, с;

-привод системы аварийного слива в действие – ручной или автоматический;

-диаметр аварийного трубопровода $d_{вн}$, мм;

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

Задача 4. После реконструкции технологической установки сброс среды с предохранительных клапанов осуществлялся не на факел а в специальную закрытую систему. Произвести проверочный расчет предохранительного клапана, установленного на ресивере жатого горючего газа. Вид горючего газа в ресивере и его рабочую температуру принять по табл. 7. Рабочее давление в аппарате и другие данные расчета приведены в табл. 8. Тип установленного предохранительного клапана – предохранительный специальный полноподъемный пружинный фланцевый (СППК-4).

Таблица 7

№ варианта	**2, 12, 22, 32**	**3, 13, 23, 33**	**4, 14, 24, 34**	**5, 15, 25, 35**	**6, 16, 26, 36**	**7, 17, 27, 37**	**8, 18, 28, 38**	**9, 19, 29, 0**	**10, 20, 30, 1**	**11, 21, 31**
Горючий газ	Аммиак		Метан		Этан		Этилен		Водород	
Рабочая температура газа, ^{0}C	20	80	10	20	15	60	80	20	15	80

Таблица 8

№ варианта	**3, 15, 25, 35**	**4, 16, 26, 36**	**5, 17, 27, 37**	**6, 18, 28, 38**	**7, 19, 29, 0**	**10, 20, 30, 1**	**11, 21, 31, 2**	**12, 22, 32**	**13, 23, 33**	**14, 24, 34**
Рабочее (абсолютное) давление, МПа	0,8	0,4	1,0	0,5	2,4	1,3	1,4	0,7	3,5	2,1
Рабочая температура, ^{0}C	20	80	10	20	15	60	80	20	15	80
Коэффициент расхода среды через клапан	0,15	0,16	0,15	0,16	0,17	0,15	0,16	0,15	0,17	0,16
Диаметр сопла клапана, *мм*	40	30	50	30	72	40	72	40	72	50
Длина отводящ. трубопровода, *м*	200	100	250	150	300	200	150	200	200	300
Количество поворотов на отводящем трубопроводе	4	8	5	12	6	9	3	7	5	8

Давление (абсолютное) в закрытой системе, МПа	0,12	0,13	0,14	0,15	0,14	0,11	0,12	0,13	0,15	0,14
Максимальный приток газа в ресивер при аварии, *кг/ч*	350	250	800	300	1600	500	1500	400	2300	1500

Методика расчета предохранительного клапана

Предохранительные клапаны представляют собой автоматически действующие устройства, которые предназначены для выпуска из аппаратов содержащихся в них продуктов (газов, паров, жидкостей) при превышении давления сверх установленных пределов. Различают следующие виды предохранительных клапанов: грузовые, рычажные, пружинные и комбинированные. Основными расчетными параметрами предохранительного клапана является давление срабатывания и пропускная способность клапана. Сброс среды при срабатывании предохранительных клапанов может производиться в атмосферу или в специальную закрытую схему. В последнем случае предотвращается опасность загазованности территории технологических установок, воздействие ядовитых и вредных веществ на окружающую среду и людей.

Ниже приводится методика проверочного расчет пружинного предохранительного клапана со сбросом парогазовой среды в специальную закрытую систему.

1. Принимают избыточное давление срабатывания предохранительного клапана по известному избыточному рабочему давлению в аппарате по следующей таблице 9.

Таблица 9

Рабочее (избыточное) давление $P_{Р.И}, МПа$	Давление срабатывания (избыточное) $P_{СР.И}, МПа$
Менее 0,3	$P_{Р.И}$ +0,05
$0,3 \le P_{Р.И} < 6$	$1,15\,P_{Р.И}$
6 и более	$1,1\,P_{Р.И}$

Здесь $P_{Р.И} = P_Р - 0,1МПа$ и $P_{СР.И} = P_{СР} - 0,1МПа$; $P_Р$ - рабочее (абсолютное) давление в аппарате, $МПа$; $P_{СР}$ - абсолютное давление срабатывания клапана, $МПа$.

2. Находят молекулярную массу продукта в аппарате по табл. 1. приложения, а если необходимо, определяют молекулярную массу М парогазовой среду в аппарате по формуле, приведенное в табл. 3 приложения.

3. Определяют плотность среды в аппарате при давлении срабатывания предохранительного клапана и рабочей температуре:

$$\rho_t = 120,27 \frac{\text{M}P_{CP}}{t_P + 273},$$

где ρ_t - плотность парогазовой среды в аппарате, кг/м^3; t_P - рабочая температура среды в аппарате, ^{0}С; P_{CP} - абсолютное давление срабатывания клапана, МПа.

4. Дальнейшие расчеты производят с использованием метода последовательных приближений, для чего задаются давлением на выходе в отводящий трубопровод $P_{вх}$ (на выходе из отводящего патрубка предохранительного клапана). Принимают

$$P_{вх} = P_с,$$

где $P_с$ – абсолютное давление среды в закрытой системе, куда производится сбрасывание парогазовой среды, МПа.

5. Определяют отношение:

$$P_{ВХ.И} / P_{СР.И}.$$

Здесь $P_{ВХ.И} = P_{вх} - 0,1МПа$ - избыточное давление в отводящем трубопроводе, МПа.

6. По табл. 5. приложения находят показатель адиабаты k среды, выходящей через предохранительный клапан из аппарата, и по табл. 4.1. учебника [3] находят коэффициент:

$$B = f(P_{ВХ.И} / P_{СР.И}; k).$$

7. Определяют необходимую площадь проходного сечения предохранительного клапана при максимальной производительности аппарата по парогазовой среде (или притоке в аппарат среды) во время аварийной ситуации:

$$F = \frac{7,142 \cdot 10^{-4} G_{\max}}{\varphi B \sqrt{(P_{СР} - P_{ВХ})\rho_t}},$$

где F - площадь проходного сечения клапана, м^2; $G_{\max}$ - максимальной производительности аппарата по парогазовой среде,кг/с; φ - коэффициент расхода среды через клапан (величина φ приводится в паспорте аппарата и для полноподъемных клапанов типа ППК и СППК составляет в среднем 0,16-0,17).

8. Сравнивают найденную площадь проходного сечения F с фактической площадью проходного сечения F_K предохранительного клапана, установленного на аппарате, которую определяют по формуле:

$$F_K = 0,785 d_c^{\,2}$$

где d_C - диаметр сопла предохранительного клапана, м; численные значение диаметров сопел и соответствующие им внутренние диаметры отводящих патрубков приведены в таблице10.

Таблица 10

Диаметр сопла, м	0,012	0,03	0,04	0,05	0,072
Диаметр отводящего патрубка, м	0,032	0,08	0,1	0,125	0,2

Если $F \succ F_K$, то необходима установка предохранительного клапана большей пропускной способности (с большим диаметром сопла d_c и соответственно с большей площадью проходного сечения клапана $F_к$, подбираемыми по приведенной выше таблице; при необходимости предлагают устройство двух и более клапанов).

Если $F \le F_K$, то расчеты продолжают, начиная с п. 9.

9. Определяют площадь сечения отводящего трубопровода:

$$F_{OT} = \pi d_{OT^2} / 4,$$

где $d_{от}$ - внутренний диаметр отводящего трубопровода, м (диаметр отводящего трубопровода должен быть не меньше диаметра отводящего патрубка предохранительного клапана).

10. Определяют плотность среды на выходе из отводящего трубопроводе (в закрытой системе):

$$\rho_{OT} = 120,27 \frac{\mathrm{M} P_{BX}}{t_P + 273}.$$

11. Определяют критическую скорость истечения парогазовой среды:

$$\omega_{кр} = 128,95 \sqrt{\frac{k(t_P + 273)}{(k+1)\mathrm{M}}}.$$

12. Определяют скоростной коэффициент на выходе из отводящего трубопровода:

$$\lambda_{в\,ых} = \frac{G_{\max}}{\rho_{OT} F_{OT} \omega_{KP}}.$$

13. Определяют количество и вид местных сопротивлений на отводящем трубопроводе, значение коэффициентов местных сопротивлений.

14. Определяют суммарный коэффициент местных сопротивлений:

$$\zeta_C = \sum_{i=1}^{n} N_i \zeta_i,$$

где N_i - количество местных сопротивлений одного вида; ζ_i - численное значение i-ого коэффициента; n - число видов сопротивлений.

15. Определяют коэффициент сопротивления трения линейных частей трубопровода:

$$\lambda = 0,0132 d_{OT}^{-0,25}.$$

16. Определяют коэффициент сопротивления системы:

$$\zeta_{сист} = \zeta_C + \frac{\lambda}{d_{OT}} \sum_{i=1}^{n} l_i,$$

где l_i - длина i-го линейного участка отводящего трубопровода, м; n - число линейных участков.

17. Определяют параметр:

$$L = \frac{2k}{k+1} \zeta_{сист}.$$

18. По диаграмме, приведенной на рис. 2 приложения, находят значение скоростного коэффициента на входе парогазовой среды в отводящий трубопровод:

$$\lambda_{BX} = f(L;\lambda_{ВЫХ}).$$

19. Определяют скорость парогазовой среды на выходе из предохранительного клапана:

$$\omega_{BX} = \lambda_{BX}\omega_{KP}.$$

20. Определяют падение давления в отводящем трубопроводе:

$$\Delta P = P_{BX}(\frac{G_{\max}}{\rho_{OT}F_{OT}\omega_{BX}} - 1).$$

21. Определяют уточненное значение давления на входе в отводящий трубопровод:

$$P_{BX}{}' = P_{BX} + \Delta P.$$

22. Сравнивают уточненное значение давления на входе в отводящий трубопровод $P_{BX}{}'$ с принятым ранее значением P_{BX}. Если $P_{BX}{}'$ значительно отличается от принятого ранее P_{BX} ($P_{BX}{}' > 1{,}05\,P_{BX}$ или $P_{BX}{}' < 0{,}95\,P_{BX}$), то пропускную способность клапана следует пересчитать, приняв $P_{BX}{}' = P_{BX}$ (расчеты повторяют, начиная с п. 4).

Если $P_{BX}{}'$ незначительно отличается от принятого ранее значения P_{BX} ($0{,}95\,P_{BX} \le P_{BX}{}' \le 1{,}05\,P_{BX}$), то величину P_{BX} считают истинной.

23. Уточняют значение коэффициента B' по табл. 1.4. учебника [3]:

$$B' = F(P_{BX.И}{}' / P_{СР.И}; k).$$

24. Проверяют пропускную способность предохранительного клапана G_K

$$G_K = 1400\varphi F B' \sqrt{(P_{CP} - P_{BX}{}')\rho_t}.$$

25. Сравнивают найденное значение пропускной способности клапана G_K с максимальной производительностью аппарата по парогазовой среде при аварийной ситуации $G_{\max}$.

При $G_K \ge G_{\max}$ расчеты завершают. При $G_K < G_{\max}$ необходимо: 1) установить предохранительный клапан с большим диаметром сопла и соответственно с большим диаметром отводящего патрубка и трубопровода d_{OT} и повторить расчеты, начиная с п. 8; 2) уменьшить гидравлическое сопротивление отводящего трубопровода (уменьшить его длину, увеличить диаметр или уменьшить количество местных сопротивлений). В этом случае расчеты повторяют с п. 13.

26. Результаты проверочного расчета предохранительного клапана (техническая характеристика) представить в виде технического задания на проектирование :

среда в аппарате;

рабочее (абсолютное) давление $P_P, Па$;

рабочая температура $t_P, {}^0C$;

давление (абсолютное) срабатывания клапана $P_{CP}, МПа$;

давление (абсолютное) в закрытой системе $P_C, МПа$;

тип предохранительного клапана;

пропускная способность предохранительного клапана G_K, *кг / с*;
площадью проходного сечения клапана F_K, м^2;
диаметр отводящего трубопровода d_{OT}, *м*;
коэффициент сопротивления системы $\zeta_{сист}$;
падение давления в отводящем трубопроводе ΔP, *МПА.*

Задача 5. В производственном процессе внутри емкости с горючим продуктом (при определенных условиях эксплуатации) образуется взрывоопасная парогазовоздушная смесь. Для защиты аппарата от разрушения при взрыве горючей смеси он оборудован разрывным мембранным устройством. Дать заключение о правильности подбора мембранного устройства и надежности защиты аппарата от разрушения. Материал разрывной мембраны и скорость ее коррозии в технологической среде принять по табл. 11. Вид горючего продукта, его концентрацию и другие данные для расчета приведены в табл. 12. Сброс среды из аппарата при сбрасывании мембраны производится в атмосферу.

Таблица 11

№ варианта	**5, 15, 25, 35**	**6, 16, 26, 36**	**7, 17, 27, 37**	**8, 18, 28, 38**	**9, 19, 29, 1**	**10, 20, 30, 2**	**11, 21, 31, 3**	**12, 22, 32, 4**	**13, 23, 33, 0**	**14, 24, 34**
Материал мембраны	Алюминий мягкий		Медь мягкая		Нерж. Сталь мягкая		Никель мягкий		Никель полутвердый	
Скорость коррозии, *мм/год*	0,002	0,004	0,006	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002

Таблица 12

№ варианта (АБ)		**2, 12, 22, 32**	**3, 13, 23, 33**	**4, 14, 24, 34**	**5, 15, 25, 35**	**6, 16, 26, 36**	**7, 17, 27, 37**	**8, 18, 28, 38**	**9, 19, 29, 0**	**10, 20, 30, 1**	**11, 21, 31**
Горючий продукт		Ацетон	н-Гексан	Толуол	Цикло-гексан	Этанол	Бензол	н-Бутан	Метанол	Пропан	н-Бутанол
Концентрация % об.		8,0	ст.*	4,0	ст.	ст.	4,0	ст.	ст.	6,0	ст.
Аппарат	Диаметр,*м*	1,1	1,5	2,2	1,6	2,5	0,7	3,0	0,9	4,0	1,3
	Высота,*м*	1,9	1,2	1,7	2,3	2,0	3,2	3,0	2,4	3,0	2,7
Рабочая температура, ^0C		235	80	150	120	200	380	-30	310	0	240

Рабочее давление, *МПа*	0,12	0,2	0,1	1,1	0,15	0,7	0,1	0,13	0,1	0,4
Площадь сбросных отверстий, $м^2$	0,02	0,03	0,24	0,08	0,5	0,01	0,7	0,02	1,1	0,3
Толщина мембраны, *мм*	0,04	0,04	0,03	0,45	0,04	0,15	0,05	0,03	0,05	0,07
Количество мембран	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2

*ст. – стехиометрическая концентрация горючего.

Методика расчета предохранительной мембраны.

Предохранительные мембраны применяются для защиты аппаратов от разрушения при быстром (взрывном) повышении давления. В зависимости от характера разрушения предохранительные мембраны подразделяются на разрывные, ломающиеся, отрывные, срезные, выщелкивающие и специальные устройства. Основными расчетными параметрами предохранительных устройств является площадь проходного сечения сбросного отверстия аппарата и толщина мембраны. Ниже приводится методика расчета предохранительной мембраны разрывного типа для защиты аппарата от разрушения при взрыве горючей смеси.

1. По технологическому регламенту или расчетно–пояснительной записке к технологической части проекта находят состав горючей смеси, которая содержится в защищаемом аппарате. При отсутствии таких данных считают, что в аппарате образуется горючая смесь стехиометрического состава, концентрацию компонентов в которой определяют в соответствии с п. 1§2.1.

2. Определяют молекулярную массу компонентов горючей смеси M_1 по табл. 1. приложения и молекулярную массу M горючей смеси по формуле, приведенной в табл. 3 приложения. При концентрации горючего вещества в исходной смеси менее 5% об. можно принять $M = 28{,}96 кг/моль$ (молекулярная масса воздуха).

3. По табл. 1 приложения находят нормальную скорость распространения пламени $U_H, м/с$; по табл. 5 – показатель адиабаты k воздуха.

4. Принимают максимально допустимое давление в аппарате Р, при котором должна сработать (разрушиться) мембрана, по следующей таблице 13.

Таблица 13

Рабочее (избыточное) давление	Давление срабатывания
$P_р=P_{бар}$ ($V_{св}<30$ м^3)	P=0,11
$P_р=P_{бар}$ ($V_{св}\geq30$ м^3)	P=0,105
$P_{бар}<P_р<0{,}17$	$P= P_р +0{,}03$
$P_р\geq0{,}17$	$P=1{,}25\ P_р$

Здесь V_{cB} - свободный объем аппарата, м^3; $P_{бар}=0{,}1 МПа$ - атмосферное давление.

5 Определяют максимальную поверхность фронта пламени $F_{ПЛ}$ для аппарата цилиндрической формы:

$$F_{ПЛ} = K_Ф \pi D^2 \quad \text{при } D \le H,$$

$$F_{ПЛ} = K_Ф \pi H^2 \quad \text{при } D > H.$$

где D –диаметр аппарата, *м;* H- высота аппарата, *м;*

для аппарата прямоугольной формы:

$$F_{ПЛ} = K_Ф \pi AB \quad \text{при } A \le B \le C,$$

где A,B,C – размеры сторон аппарата, *м*; $K_Ф$ - коэффициент искривления фронта пламени; $K_Ф$=1,5-2 – для аппаратов свободных от каких-либо устройств внутренним пространством и с невозмущенным состоянием среды; $K_Ф$=2-2,5 – для прочных аппаратов или при наличии в них лопастей, ребер и других аналогичных устройств; $K_Ф$=5-10 – для аппаратов с искусственной интенсивной турбулизацией среды с помощью встроенного вентилятора или тангенцианального ввода газа.

6. По табл. 23 приложения находят максимальное давление взрыва горючей смеси заданного состава $P_{\max}$ в МПа и определяют степень повышения давления при взрыве в замкнутом объеме:

$$\mu = P_{\max} / P_{бар},$$

где $P_{бар} = 0{,}1 МПа$.

7. Определяют максимальный расход газов через сбросное отверстие при взрыве среды в аппарате G:

$$G = F_{ПЛ} U_H \frac{\mu - 1}{k} \left(\frac{P}{P_P}\right)^{\frac{2-k}{k}}.$$

8. Определяют относительный перепад давлении на сбросном отверстии и режим истечения газов при взрыве среды в аппарате через него после разрушения мембраны:

$$\nu = P_0 / P,$$

где P_0 - максимальное (абсолютное) давление в сбросном трубопроводе, *МПа* ; при сбросе продуктов взрыва в атмосферу $P_0 = P_{бар}$; при сбросе продуктов взрыва в закрытую систему учитывают влияние сопротивления сбросного трубопровода по методике, изложенной в п. 10-22 §2.4.

Принимают при $\nu > 0{,}528$ докритический режим истечения среды из аппарата через сбросное отверстие, а при $\nu \le 0{,}528$ - критический режим истечения.

9. Определяют площадь сбросных отверстий $F_K, м^2$:

для докритического режима истечения:

$$F_K \geq \frac{F_{ПЛ} U_H (\mu - 1)}{\varphi k (\frac{P}{P_P})^{\frac{3(k-1)}{2k}} \sqrt{\frac{2R(t_P + 273)\left(\nu^{\frac{2}{k}} - \nu^{\frac{k+1}{k}}\right)\frac{k}{k-1}}{\text{M}}}};$$

для критического режима истечения:

$$F_K \geq \frac{F_{ПЛ} U_H (\mu - 1)}{\varphi k (\frac{P}{P_P})^{\frac{3(k-1)}{2k}} \sqrt{\frac{2kR(t_P + 273)\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}{\text{M}}}},$$

где φ - коэффициент расхода, для отверстий круглой формы равный 0,7-0,8; $R = 8314,31 Дж/(кмоль \cdot К)$ - универсальная газовая постоянная; t_P - рабочая среда в аппарате до взрыва, ^{0}С.

Определяют диаметр сбросных отверстий d:

$$d = 2\sqrt{\frac{F_K}{\pi n}},$$

где n - число однотипных мембранных устройств на аппарате.

Найденный диаметр сбросного отверстия округляют до наибольшего значения условного прохода d_y мембранного устройства.

Стандартный ряд условных проходов мембранных устройств: 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500 *мм*.

При диаметре сбросного отверстия $d > 500$ *мм* необходима установка на аппарате двух или более мембранных устройств.

11. Выбирают тип мембраны (в нашем случае мембрана – разрывная). По табл. 24 приложения с учетом рабочей температуры выбирают материал мембраны и находят его механические свойства:

предел прочности $\sigma_2, МПа$;

относительное удлинение δ;

показатель ползучести $\lambda, 1/год$.

12 По табл. 20 приложения находят температурный коэффициент K_t.

13. Определяют толщину разрывной мембраны:

$$\Delta = \frac{P d_y}{8 \delta_B K_t} \sqrt{\frac{1+\delta}{\sqrt{1+\delta} - 1}}.$$

Найденную толщину разрывной мембраны округляют до ближайшего наименьшего значения толщины выпускаемого металлопроката (фольги).

Стандартный ряд толщин металлопроката (фольги) $\Delta_ф$:0,005-0,012 (шаг 0,001); 0,014-0,02 (шаг 0,002); 0,025-0,1 (шаг 0,005); 0,11-0,25 (шаг 0,01); 0,3-1,0 (шаг 0,05); 1,1-2 (шаг 0,1) *мм*.

14. Определяют срок службы разрывной мембраны, лет:

$$\tau = \frac{\left(1 - \frac{P_P}{P}\right)^2}{2\left(\frac{c}{\Delta_Ф} + \lambda\right)}\left(1 - 0,85\frac{t_P - 20}{t_m - 20}\right),$$

где c – скорость коррозии металла мембраны в рабочей среде, *м/год*; t_m - предельно допустимая температура, ^0C (см. табл. 24 приложения).

15. Результаты расчетов разрывной мембраны (техническая характеристика) представить в виде технического задания на проектирование:

горючая среда в аппарате (горючее вещество, окислитель, их концентрация $\varphi_Г$ и $\varphi_{ОК}$, об. доли.);

основные размеры аппарата (длина, ширина и высота для прямоугольного аппарата, высота и диаметр для цилиндрического аппарата.), *м*;

свободный объем $V_{св}$, $м^3$;

рабочие параметры:

температура $t_P, ^0C$;

давление $P_P, МПа$;

давление срабатывания мембраны $P, МПа$;

площадь сбросных отверстий $F_K, м^2$;

диаметр мембраны (сбросного отверстия) $d_y, м$;

количество мембран на аппарате, n;

материал мембраны;

толщина металлопроката (фольги) $\Delta_Ф, м$;

срок службы мембраны τ, лет.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Сатюков, Р. С. Пожарная безопасность технологических процессов в структурно-логических схемах, таблицах и формулах [Текст]: учебное пособие / Р. С. Сатюков, Т. В. Штеба, Ю. В. Мельниченко и др. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2014. – 157 с.

2. Сатюков, Р. С. Анализ пожарной опасности объектов первичной переработки и хранения зерна [Текст]: Учебное пособие / Р. С. Сатюков, Е. А. Контобойцев, Т. В. Штеба, Ю. В. Мельниченко. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2013. – 84 с.

3. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Текст] : ГОСТ Р 12.3.047-2012. – М. : Госстандарт России, 2012.

Дополнительная литература

4. Пожарная безопасность технологических процессов [Текст]:. курс лекций в 2-х частях / Е. А. Контобойцев, Т. В. Штеба и др. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2010. Ч.2 / Т. В. Штеба и др. – 2010. – 199 с.

5. *Абрамов А.С., Мартенко Е. А., Любаков Е.А.* Пожарная безопасность технологических процессов производств: Учебник / под общ.ред. *А. С. Абрамова.* – г. Омск, 2009. - 503 с.

6. Абросимов А.А.,Топольский М.Т. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств / А.А. Абросимов, М.Т.Топольский.– М.:АГПС МЧС России,2000.- 239с.

7. Гельфанд, Б.Е. Взрывобезопасность: учебник /Б.Е.Гельфанд, М.В.Сильнов.- СПб.: Астерион, 2006.

8. Зыков П.И. Обеспечение пожаровзрывобезопасности горизонтальных резервуаров для нефтепродуктов перед ремонтом Учеб.-метод. пособие. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2014 – 76 с.

9. Контобойцев Е.А., Куликов В.В., Мельниченко Ю.В., Сатюков Р.С., Шиповских Ф.А. Основы технологии, процессов и аппаратов пожаровзрывоопасных производств. Курс лекций. Часть 1. – Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России, 2009. – 148 с.

10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справ.изд. В 2 книгах; кн. 1/ *А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук* и др. - М.: Химия, 1990. - 496 с.; кн. 2 / *А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук* и др. - М.: Химия, 1990. - 384 с.

11. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст] : Федер. закон № 123-ФЗ.

12. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Госстадарт России, 1992. – 78 с.

13. ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. - М.: Издательство стандартов, 1991.

14. ГОСТ 12.1.041–83. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования.

15. ГОСТ 31385–2008 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.- М.: Технорматив, 2013.– 52с.

16. ГОСТ Р 53323–2009 Огнепреградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний.

17. ГОСТ Р 53324–2009. Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности.

18. ГОСТ 31438.1–2011 Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва.

19. СП 2.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.– М., 2009

20. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решенниям.

21. СП155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы. Актуализированнаяредакция СНиП 2.11.03-93.

22. Правила противопожарного режима в Российской Федерации: утв. Постановлением Правительства РФ от 25 апреля 2012г. № 390.– Екатеринбург: Калан. 2012.– 84с.

23. ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

24. РД 51-0220570-2-93 Клапаны предохранительные. Выбор, установка и расчет.