

УТВЕРЖДАЮ

Начальник

ФГУ ВНИИПО МЧС России

доктор технических наук,

профессор

Н.П. Копылов



2006 г.

**МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
ТРУБОПРОВОДОВ УСТАНОВОК ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДУЛЕЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ «ОАО
ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД «ТЕНЗОР».**

Начальник отдела 4.2.,

д.т.н., с.н.с.

С.Н. Копылов

Москва 2006 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Основание для выполнения работы.....	3
2.	Цель работы.....	3
3.	Состояние вопроса.....	3
4.	Исходные данные для расчета.....	4
5.	Проектный расчет.....	5
6.	Поверочный расчет.....	7
7.	Распределение газа по нескольким защищаемым объемам.....	12
8.	Приложение 1. Ориентировочное минимальное значение приведенного расхода.....	11
9.	Приложение 2. Методика определения приведенной гидравлической характеристики насадка	13
10.	Приложение 3. Пример расчета трубопроводной разводки с использованием предлагаемой методики.....	17
11.	Приложение 4. Гидравлический расчет распределительной сети установок газового пожаротушения на основе хладона 125 в соответствии со схемой на рис. 3.....	22
12.	Приложение 5. Таблица коэффициентов местных сопротивлений.....	39

1. ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Методика гидравлического расчета трубопроводов установок газового пожаротушения с использованием модулей, изготавливаемых ОАО «Приборный завод «Тензор», разработана в соответствии с договором № 2554-4.2 от 10 апреля 2006г. между ФГУ ВНИИПО МЧС России и ЗАО «СКБ Тензор».

2. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – предоставить заказчику методические указания по расчету параметров установок газового пожаротушения при формировании распределительной сети с использованием сжиженных хладонов 125 и 227_{ea} в модулях, изготавливаемых ОАО «Приборный завод «Тензор».

3. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.

В настоящее время в установках газового пожаротушения используется целый ряд сжиженных огнетушащих веществ (ГОТВ). Сжиженные газы, находятся при хранении под давлением собственных паров (СО₂, хладон 23) или под давлением сжатого газа – пропеллента (в основном азота).. В числе последних используются отнести хладоны 125, 227_{ea}, 318Ц и т.п. При длительном хранении газ-пропеллент, частично растворяется в жидкой фазе хладона.

Подача ГОТВ по трубопроводам сопровождается фазовыми переходами и образованием паро- или газожидкостных потоков (при выходе газа-пропеллента из жидкой фазы). Совместное движение пара, газа и жидкости по трубопроводам характеризуется наличием разнообразных структурных форм течения, каждой из которых присущи свои особенности, условия существования и взаимного перехода одной формы течения в дру-

гую. В общем случае сопротивление трубопровода зависит от распределения фаз по сечению трубы, паро-газосодержания, скорости смеси, физических особенностей различных фаз, ориентации трубопровода в пространстве и других факторов.

Эти факторы создают весьма сложную для исследования и расчета картину, которая дополнительно усложняется нестационарным режимом движения смеси и сложным характером изменения параметров двухфазного потока во времени и по длине трубопровода.

Расходные характеристики установки газового пожаротушения определяются параметрами трубопроводной разводки с насадками. Продолжительность подачи ГОТВ нормируется в документах, регламентирующих проектирование и разработку указанных установок. Однако в отечественных и зарубежных нормативных документах практически полностью отсутствует нормативно-методическая база для расчета параметров трубопроводов.

В этой связи, настоящая работа посвящена разработке методики расчета параметров трубопроводной распределительной сети установок газового пожаротушения на основе хладонов 125 и 227_{ea}.

Методика разработана на основе научно-исследовательских работ, проведенных в различных организациях, а также в ФГУ ВНИИПО МЧС России, в области установок газового пожаротушения.

Настоящие нормы предназначены в качестве руководства при проведении гидравлических расчетов трубопроводной разводки автоматических установок газового пожаротушения (АУГП) на основе хладонов 125 и 227_{ea}.

4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Исходными данными для гидравлического расчета установок газового пожаротушения являются:

- схема разводки трубопроводов с указанием направлений, длин отдельных участков трубопроводов, модулей (батарей), распределительных устройств и насадков;

- масса огнетушащего вещества (ГОТВ), необходимая для создания нормативной огнетушащей концентрации в защищаемых помещениях с учетом вида пожарной нагрузки, негерметичности и других параметров, характеризующих помещение;

- нормативное время подачи огнетушащего вещества;

- коэффициенты загрузки модулей;

- рабочее давление в модулях;

- температура эксплуатации модулей (батарей) и защищаемых помещений.

5. ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ

При проектировании установки осуществляется проектный расчет. При этом определяются диаметры трубопроводов и площади поперечного сечения насадков. Суммарная площадь проходных сечений насадков АУГП $F_{сн}$ определяется по формуле:

$$F_{сн} = M_p / J \cdot \mu \cdot t_n, \text{ м}^2, \quad (1)$$

где: M_p - масса газового состава, необходимая для создания в защищаемом помещении нормативной огнетушащей концентрации, кг, определяется по формулам (2) и (3) Приложения 6 НПБ 88-2001*; J - приведенный расход газового состава, предварительно принимаемый в соответствии с Приложением 1, таблица 1, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$; μ - коэффициент расхода насадков, определяемый по справочным данным для конкретного типа насадков или экспериментальным путем (обычно для многоструйных насадков принимают значение $\mu = 0,6$); t_n - нормативное время подачи газового состава, с, принимается в соответствии с НПБ 88-2001*.

Далее выбирается конкретный тип насадка, в соответствии со спе-

цификацией предприятия–изготовителя (например, 1/4 , 3/8, 1/2 дюйма и соответствующая ему площадь поперечного сечения).

Общее количество насадков на установке равно:

$$N_i = F_{\text{сн}} / F_{\text{н}} ,$$

где: $F_{\text{н}}$ - площадь поперечного сечения одного насадка, а N_i округляется в большую сторону.

Уточняется суммарный массовый расход газового состава по формуле:

$$G_{\Sigma} = J \cdot \mu \cdot F_{\text{сн}} , \text{ кг/с}, \quad (2)$$

$$F_{\text{сн}} = F_{\text{н}} \cdot N_i , \text{ м}^2 ,$$

где $F_{\text{н}}$ – площадь проходного сечения одного насадка, м^2 .

Далее выбирается длина рядка L_p , исходя из аксонометрической схемы или других соображений конструктивного характера. Определяется шаг между насадками на рядке:

$$\ell_p = L_p / n_p ,$$

где n_p – количество насадков на данном рядке.

Площадь поперечного сечения рядка F_p , на котором установлено n_i насадков, и площадь магистрального трубопровода F_m рассчитывают по формулам:

$$F_p = A_p F_{\text{н}} n_i , \quad (3)$$

$$F_{\text{н}} = A_m \sum F_p , \quad (4)$$

где A_p - коэффициент, принимаемый равным от 1,1 до 1,25; $F_{\text{н}}$ - площадь проходного сечения насадка, м^2 ; n_i - количество насадков, расположенных на одном рядке; A_m – коэффициент, принимаемый равным от 1,0 до 1,1; $\sum F_p$ – суммарная площадь поперечного сечения всех распределительных трубопроводов (рядков) в установке, м^2 .

По рассчитанным значениям подбирают стандартные трубопроводы,

как правило, имеющие ближайшее большее значение внутреннего диаметра. При выборе схемы распределительной сети трубопроводов рекомендуется использовать симметричные и сбалансированные системы трубных разводов.

Необходимо стремиться к тому, чтобы разделение потоков двухфазной среды происходило в горизонтальной плоскости, и соотношение расходов в тройниках, при использовании несимметричных схем, не было более 2/3. Суммарный внутренний объем трубопроводов не должен превышать 80 % объема жидкой фазы газового огнетушащего вещества, хранимого во всех модулях установки. При этом, объем жидкой фазы в модулях установки $V_{ж}$ определяется по формуле:

$$V_{ж} = M_{г} / \rho_{гж} , \quad (5)$$

где $M_{г}$ - масса газового состава, хранимого в модулях установки, кг; $\rho_{гж}$ - плотность жидкой фазы хладонов; указывается в Приложении 1.

6. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ

В поверочной части расчета определяется пропускная способность разводки трубопроводов. По формулам (3)-(4) определяется площадь поперечного сечения распределительных трубопроводов и магистрального трубопровода. Исходя из полученного значения площади поперечного сечения, определяется диаметр магистрального трубопровода и диаметр распределительного трубопровода:

$$D_m = [4F_m / \pi]^{0,5} , \text{ м} ;$$

$$D_p = [4F_p / \pi]^{0,5} , \text{ м} .$$

Определяется тип модулей в установке, в соответствии с данными организации-изготовителя, и их количество:

$$n_m = M_p / V_m \cdot \eta ,$$

где V_m – объем модуля, л; η – коэффициент заполнения модуля, кг/л.

Полученное число модулей округляется в большую сторону, или производится коррекция количества газа в модуле за счет изменения коэффициента заполнения. Эквивалентная длина магистрального трубопровода рассчитывается по формуле:

$$L_{m_э} = L_m + L_{сб} + L_{ск} + L_{пу} + L_{пов}, \text{ м}, \quad (6)$$

где L_m – геометрическая длина магистрального трубопровода, м; $L_{сб}, L_{ск}, L_{пу}, L_{пов}$ – соответственно эквивалентные длины сборки модулей (батареи), стационарного коллектора, распределительного устройства (определяется по данным организации-изготовителя), поворотов, тройников и других местных сопротивлений, приведенных к диаметру магистрального трубопровода, м.

Площадь проходного сечения стационарного коллектора определяется соотношением:

$$F_{ск} \geq \sum F_{зпу} \cdot n_{зпу},$$

т.е. как произведение площади поперечного сечения ЗПУ модуля на их количество в батарее. Эквивалентная длина стационарного коллектора определяется по формуле (приводится к диаметру магистрального трубопровода):

$$L_{ск} = (76,4 \times N_{ск} \times \zeta_{пов} \times D_{ск}^{1,25} + L_{гск}) (D_m / D_{ск})^{5,25} \quad (7)$$

где $N_{пск}$ – число поворотов на стационарном коллекторе; D_m – диаметр магистрального трубопровода, м; $\zeta_{пов}$ – коэффициент гидравлического сопротивления поворота; $L_{гск}$ – геометрическая длина стационарного коллектора, м; $D_{ск}$ – диаметр стационарного коллектора, м.

Для конкретного участка трубопровода, эквивалентные длины местных сопротивлений определяются в виде:

$$L_i = 76,4 \times \zeta_i \times (D_i)^{1,25}, \text{ м}, \quad (8)$$

где L_i – эквивалентная длина «i»-того участка трубопровода, м; ζ_i – коэффициент гидравлического сопротивления местного сопротивления (модуля (батареи), сборки модулей, распределительного устройства, поворота, тройника, сужения или расширения трубопровода и т.д.); D_i – диаметр трубопровода на котором установлено местное сопротивление, м.

Например, для поворота на распределительном трубопроводе

$L_{\text{пов}} = 76,4 \times \zeta_{\text{пов}} \times N_{\text{пов}} \times D_p^{1,25}$, где: $\zeta_{\text{пов}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления данного поворота; $N_{\text{пов}}$ – количество поворотов на участке, D_p – диаметр распределительного трубопровода.

Коэффициенты гидравлического сопротивления (ζ) элементов трубопроводов (внезапные расширения и сужения трубопроводов, повороты трубопроводов с различными радиусами, задвижки, тройники и т.п.) приведены в различных изданиях по гидравлике, например: И.Е.Идельчик Гидравлические сопротивления, 1954; И.Е.Идельчик Справочник по гидравлическим сопротивлениям фасонных и прямых труб, 1950; П.К.Кисилев Справочник по гидравлическим расчетам, 1954; И.И.Куколевский Задачник по гидравлике, 1956 и других пособиях по гидравлике. Некоторые сведения по величинам коэффициентов местного сопротивления приведены в Приложении 5.

Вышеприведенные формулы записаны для горизонтально расположенных трубопроводов. При наличии вертикальных или наклонных участков необходимо учитывать дополнительное повышение или понижение давления, обусловленное гидростатическим напором при подъеме или спуске газа на высоту ΔH .

$$\Delta P = \pm \rho \times \Delta H \times g \quad (8a)$$

где: ΔH – высота подъема (спуска) трубопровода по вертикальной оси, м.; g – ускорение свободного падения, равное $9,8 \text{ м/с}^2$, ρ – плотность

двухфазной смеси.

Плотность двухфазной смеси при течении в трубопроводах является величиной переменной, зависящей от величины сопротивления отдельных элементов трубопровода $\rho = f(Y)$. С целью упрощения процедуры расчета можно рекомендовать следующую методику. Определяется эквивалентная длина магистрального трубопровода по формуле (6) до места подъема или опускания трубопровода. Далее по формуле (13) определяется приведенная гидравлическая характеристика участка трубопровода до этого места. При этом в формуле (13) необходимо учитывать лишь первый член в скобках. Далее по формулам (15, 15а и 17) рассчитывается давление газовой смеси P в этом месте. После этого по формуле $\rho = \rho_0 \times (P/P_0)^{0,71}$ определяется ориентировочное значение плотности в месте подъема или опускания трубопровода; в этой формуле ρ_0 – плотность жидкой фазы хладона в модуле, например, для хладона 125 $\rho_0 = 1167 \text{ кг/м}^3$, P_0 – начальное давление в модуле, показанное в Таблице 2 Приложения 1. Далее по формуле (8а) определяется дополнительное повышение (понижение) давления, обусловленное гидростатическим напором. Кроме того, необходимо учесть дополнительное увеличение (уменьшение) сопротивления трубопроводной сети. Для этого вводится дополнительное увеличение (уменьшение) эквивалентной длины трубопровода, обусловленное его подъемом или опусканием. Дополнительное значение эквивалентной длины следует рассчитывать по формуле (8). Значение местного коэффициента сопротивления $\zeta_{\text{под}}$, вызванное подъемом (опусканием) трубопровода определяется по формуле: $\zeta_{\text{под}} = (\Delta P \times \rho) / (J \times \mu)^2$, где μ и J – соответственно коэффициент расхода насадка и приведенный массовый расход в начале участка подъема или спуска трубопровода, ΔP – дополнительное повышение или понижение давления, определяемое по формуле (8а). Дополнительное значение эквивалентной длины следует добавить (в случае подъема трубопровода) или вычесть (в случае опускания трубопровода) из правой части слагаемых в уравнении (6). Указанный прирост или уменьшение давления так-

же нужно учитывать при подсчете давлений перед насадками по формуле (17).

Однако необходимо отметить, что указанное повышение (понижение) давления в установках, где разница высот трубопроводной сети не превышает 5-7 м. не является существенной и ей можно пренебречь без особого ущерба для точности производимых расчетов. Например, если высота подъема магистрального трубопровода равна 5 м., то в этом случае дополнительное понижение давления (повышение сопротивления трубопровода) не превысит 0,05 МПа. Поэтому в большинстве случаев вводимая поправка не имеет существенного значения.

Шероховатость внутренней поверхности трубопроводов принята равной $2 \cdot 10^{-4}$ м. Если величина шероховатости отличается от указанной, то расчет L_i производится по формуле:

$$L_i = (\zeta_i \times D_i^{1,25}) / (0,11 \times K_{ш}^{0,25})$$

где: D_i - диаметр трубопровода приведения, м, $K_{ш}$ - эквивалентная шероховатость трубопровода, м.

При известной эквивалентной длине элемента, приведение этой длины к диаметру магистрального трубопровода производится по формуле:

$$L_i = L_i^1 (D_m / D_i)^{5,25}, \text{ м}, \quad (9)$$

где L_i^1 – эквивалентная длина элемента, принимаемая в соответствии с технической документацией, м; D_i – внутренний диаметр элемента, м.

Эквивалентная длина L_p нескольких элементов n_i (батарея, модулей), имеющих равные эквивалентные длины и соединенных параллельно, определяется по формуле:

$$L_p = L_i / n_i^2, \text{ м.} \quad (10)$$

Эквивалентная длина L_p двух элементов с различной эквивалентной длиной, соединенных параллельно, определяется по формуле:

$$L_p = \frac{L_1 L_2}{(L_1^{0,5} + L_2^{0,5})^2}, \text{ м.} \quad (11)$$

Далее определяется средняя величина гидравлической характеристики разводки трубопроводов для защищаемого помещения:

$$\Pi_{\text{ср}i} = \frac{(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \dots + \Pi_{N_i})}{N_i}, \quad (12)$$

где $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{N_i}$ – гидравлическая характеристика для каждого насадка в помещении.

Гидравлическая характеристика Π_i для каждого насадка определяется по уравнению:

$$\Pi_i = 1,1 \cdot 10^{-8} \left(\frac{N_i^2 L_{m_3}}{D_m^{5,25}} + 1,1 \cdot \sum_{j=1}^{N_i} \frac{n_j^2 L_{j_3}}{D_j^{5,25}} \right), \quad (13)$$

где N_i – число насадков в помещении; D_j, L_{j_3} – внутренний диаметр и эквивалентная длина j -го участка распределительного трубопровода или рядка по пути к конкретному насадку, м; n_j – число насадков, питаемых по j -му участку; L_{m_3} – эквивалентная длина магистрального трубопровода, определяемая по формуле (6). Несколько подробнее методика определения гидравлической характеристики для одной из простых схем трубопроводной разводки приведена в Приложении 2.

Для симметричной и гидравлически сбалансированной схемы разводки:

$$P_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2}, \quad (14)$$

где P_1 и P_2 – гидравлические характеристики для диктующих насадков, давление перед которыми является наибольшим и наименьшим.

Приведенный расход определяется по формуле:

$$J = A + B \cdot K + C \cdot K^2 + D \cdot K^3 + E \cdot K^4, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (15)$$

$$\text{где: } K = 1/\mu F_n P_{cp}^{0,5}; \quad (15a)$$

A, B, C, D, E – коэффициенты, числовые значения которых приведены в табл. 2 Приложения 1, F_n – площадь поперечного сечения одного насадка.

В соответствии с формулой (2) определяется массовый расход G_Σ .

Время подачи определяется по уравнению:

$$t = M_r / G_\Sigma, \text{ с}. \quad (16)$$

Если расчетное время « t » превышает нормативное, необходимо увеличить диаметры трубопроводов или сократить расстояние между модулями (батареями) и насадками.

Давление перед насадками может быть определено по формуле:

$$P = A_1 + B_1 Y + C_1 Y^2, \text{ МПа}, \quad (17)$$

$$Y = (J / K_i)^2.$$

Значения постоянных коэффициентов A_1, B_1, C_1 даны в табл. 2 Приложения 1. Значения K_i принимается для каждого насадка, перед которым необходимо определить давление. Необходимо стремиться к тому, чтобы давление перед насадками было не менее 1.0 МПа.

Ориентировочное минимальное значение приведенного расхода, используемого в формуле (2), показано в табл. 1 Приложения 1.

7. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗА ПО НЕСКОЛЬКИМ ЗАЩИЩАЕМЫМ ОБЪЕМАМ

Для случая одновременной подачи газового огнетушащего вещества из одной батареи (модуля, группы модулей) по единой трубопроводной разводке гидравлический расчет установки выполняют следующим образом.

Рассчитывают установку для тушения единого суммарного объема. Затем, за счет перераспределения площадей проходных сечений насадков или количества насадков добиваются требуемого распределения газа по объемам исходя из условия:

$$F_1/F_2 = M_1/M_2 ,$$

где F_1, F_2 – суммарная площадь проходных сечений насадков, расположенных, соответственно, в первом и втором объемах; M_1, M_2 – масса газа, необходимая для тушения, соответственно, в первом и втором объемах.

Для случая одновременной подачи газа из одной батареи в несколько объемов по отдельным трубопроводам гидравлический расчет установки выполняют следующим образом.

Установку рассчитывают отдельно для каждого направления (как централизованную). Диаметры трубопроводов и площади проходных сечений насадков в направлениях подбирают таким образом, чтобы времена подачи масс газа, требуемые для тушения пожара в разных направлениях были одинаковы.

Пример расчета приведен в Приложении 3 и Приложении 4.

Методику разработал:

Главный научный сотрудник
отдела 4.2 ВНИИПО МЧС России,
д.т.н., профессор

В.М.Николаев

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Ориентировочные минимальные значения приведенного расхода, используемые в формуле (2), показаны в табл. 1.

Таблица 1

Тип ОТВ	Приведенный расход, кг/ м ² ·с
Хладон 125	10000 ± 500
Хладон 227 _{са} (в диапазоне давлений 4,0 – 8,0 МПа)	(12000÷15000) ± 500

Таблица 2

Числовые значения коэффициентов в формулах (15) и (17)

Тип ОТВ	А	В	С	D	E	A ₁	B ₁	C ₁
хладон 125 P= 3,7- 4,0 η = 0,9	-462	40,9	-0,021	$5,07 \cdot 10^{-6}$	$-4,5 \cdot 10^{-10}$	3,1	$+2,54 \cdot 10^{-4}$	$-2,5 \cdot 10^{-6}$
хладон 125 P=2,4-2,7 η = 0,9	-740	38,6	- 0,024	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$-8,4 \cdot 10^{-10}$	2,02	$+1,66 \cdot 10^{-4}$	$-1,67 \cdot 10^{-6}$
хладон 227 P=4,0 η=1,2	-1574	51,1	-0,033	$9,99 \cdot 10^{-6}$	$-1,1 \cdot 10^{-9}$	2,03	$- 4,7 \cdot 10^{-4}$	$-3,4 \cdot 10^{-7}$
хладон 227 P=6,0 η=1,0	-1486	65,7	-0,041	$1,22 \cdot 10^{-5}$	$-1,3 \cdot 10^{-9}$	3,44	$-3,8 \cdot 10^{-4}$	$-2,46 \cdot 10^{-7}$
хладон 227 P=6,0 η=1,2	-1692	62,9	-0,041	$1,29 \cdot 10^{-5}$	$-1,5 \cdot 10^{-9}$	2,96	$-3,8 \cdot 10^{-4}$	$-2,84 \cdot 10^{-7}$

В табл. 2 указано давление в модуле в МПа, соответствующее температуре 20 °С, коэффициент заполнения η в кг/л.

Таблица 3

Значения плотности жидкой фазы $\rho_{гж}$ для различных газов

Тип ОТВ	хладон 125	хладон 227
$\rho_{гж}$, кг/м ³	1167	1410

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Методика определения приведенной гидравлической характеристики для «i» насадка Π_i .

Величина Π_i определяется в соответствии с формулой (13). Первый член в скобке характеризует комбинацию параметров, относящихся к магистральному (питающему) трубопроводу; сюда входит общее количество насадков, питаемых в распределительной сети для данного помещения, эквивалентная длина магистрального трубопровода, внутренний диаметр магистрального трубопровода.

Второй член в скобке характеризует сумму комбинаций тех же параметров, но определенных на участках трубопроводов по пути к выбранному насадку.

Рассмотрим наиболее простую схему распределительной сети, состоящую из магистрального трубопровода с эквивалентной длиной $L_{э.м.}$, внутренним диаметром D_m и симметричную распределительную сеть с общим количеством насадков – 4. Номера насадков указаны на схеме цифрами 1,2,3 и 4. Диаметры и длину подводящих трубопроводов обозначим: первого участка от точки входа магистрального трубопровода до поворота – D_1, L_1 , второго участка от поворота до первого насадка: D_2, L_2 ; третьего участка от первого насадка до второго насадка: D_3, L_3 . Обычно $D_1 = D_2$.

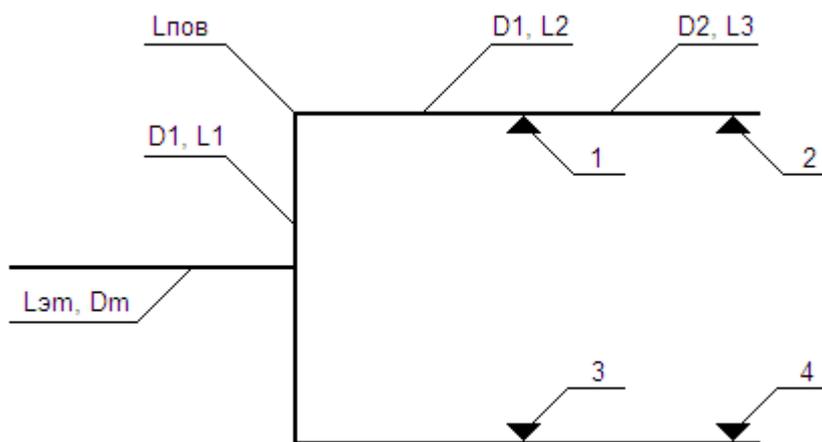


Схема упрощенной распределительной сети
1, 2, 3, 4 - насадки

Гидравлическая характеристика для насадка №1 будет равна:

$$P_1 = 1,1 \times 10^{-8} ([4^2 \times L_{э.м.}] / D_m^{5,25} + 1,1 \times [2^2 \times (L_1 + L_{пов.} + L_2)] / D_2^{5,25}) \quad (1^1)$$

Гидравлическая характеристика для насадка № 2 будет равна:

$$P_2 = 1,1 \times 10^{-8} ([4^2 \times L_{\text{э.м.}}] / D_{\text{м}}^{5,25} + 1,1 \times [2^2 \times (L_1 + L_{\text{пов.}} + L_2)] / D_2^{5,25} + 1,1 \times [1^2 \times (L_3 + L_{\text{тр}})] / D_3^{5,25}) \quad (2^1)$$

Во втором члене формулы (1¹) количество насадков принято равным 2, так как по этой длине ($L_1 + L_{\text{пов.}} + L_2$) производится питание 2-х насадков (№1 и №2).

В третьем члене формулы (2¹) количество насадков принято равным 1, так как на длине L_3 производится питание 1-го насадка, однако при этом необходимо учесть дополнительные потери давления при прохождении тройника, образованного трубопроводом и выходом насадка №1 ($L_{\text{тр}}$).

В соответствии с формулой (15а) «Методики...» производится определение значений K :

Для насадка №1:

$$K_1 = 1/\mu \times F_{\text{н}} \times (\Pi_1)^{0,5}$$

Для насадка №2:

$$K_2 = 1/\mu \times F_{\text{н}} \times (\Pi_2)^{0,5}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИМЕР РАСЧЕТА

трубопроводной разводки с использованием предлагаемой методики

Рассчитаем параметры системы трубопроводной разводки для модульной установки на основе хладона 125, представленной на рис. 1. Длины труб на схеме указаны в метрах. Давление в модуле равно 2,5 МПа (при

$t=20^{\circ}\text{C}$).

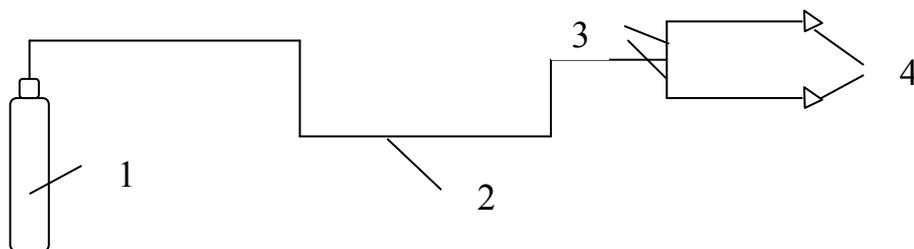


Рис. 1. Симметричная, сбалансированная схема распределительной системы.

1 – баллон с газом; 2 – магистральный трубопровод длиной 10 м.; 3 – распределительные трубопроводы длиной 4 м.; 4 – насадки.

В соответствии с нормативными документами время подачи хладона 125 не должно превышать 10 секунд. Из расчета массы газа, в соответствии с нормативными документами, определена необходимая масса газа, равная 40 кг. Определим расход газа, исходя из этих показателей:

$$G_{\Sigma} = M_p / t_n = 40 / 10 = 4 \text{ кг/с.}$$

Суммарная площадь проходных сечений насадков (коэффициент расхода двухструйных насадков принят равным 0,6), определяется в соответствии с формулой (2):

$$F_{\text{сн}} = 40 / 0,6 \cdot 10000 \cdot 10 = 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

где $J = 10000 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$, принимается из табл. 1. Приложения 1. Площадь проходного сечения 1-го насадка равна $3,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Площади и внутренние диаметры магистрального (питающего) и распределительного трубопроводов определяются в соответствии с разделом 2.

Площадь проходного сечения рядка (распределительного трубопровода) равна:

$$F_p = 1,2 \cdot 3,34 \cdot 10^{-4} = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площадь проходного сечения магистрального трубопровода равна:

$$F_m = 1,1 \cdot 2 \cdot F_p = 1,1 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 8,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Диаметры трубопроводов определяются по обычным формулам:

$$D_m = (4 \cdot F_m / 3,14)^{0,5} = (4 \cdot 8,8 \cdot 10^{-4} / 3,14)^{0,5} = 0,0334 \text{ м},$$

$$D_p = (4 \cdot F_p / 3,14)^{0,5} = (4 \cdot 4 \cdot 10^{-4} / 3,14)^{0,5} = 0,0225 \text{ м}.$$

Дальнейшие действия заключаются в том, чтобы по найденным значениям подобрать стандартные трубопроводы и откорректировать расчет. Однако, для сокращения времени и очевидности поправок, в дальнейшем используем значения диаметров и проходных площадей, полученных в выше приведенном расчете.

Определяем эквивалентную длину магистрального трубопровода:

$$L_{m_э} = L_б + L_m + L_{мс},$$

здесь $L_б$, L_m , $L_{мс}$ - соответственно, эквивалентная длина баллона, геометрическая длина магистрального трубопровода и эквивалентная длина местных сопротивлений (поворотов и т.д.).

В соответствии с ТУ на баллон принимаем значение коэффициента сопротивления баллона равной $\xi = 7$.

Тогда эквивалентная длина баллона составит:

$$L_б = 76,4 \cdot 7 \cdot 0,0334^{1,25} = 7,64 \text{ м}.$$

Эквивалентная длина местных сопротивлений (четыре поворота под 90 град.) составит ($\xi_{1пов} = 1,1$):

$$L_{мс} = 76,4 \cdot 1,1 \cdot 4 \cdot 0,0334^{1,25} = 4,8 \text{ м}.$$

Таким образом, эквивалентная длина магистрального трубопровода составит:

$$L_{m_э} = 10 + 7,64 + 4,8 = 22,44 \text{ м}.$$

Эквивалентная длина распределительного трубопровода составит:

$$L_{j_э} = L_p + L_{тр_э} + L_{пов},$$

где $L_p, L_{тр_э}, L_{пов}$ – соответственно, геометрическая длина распределительного трубопровода, эквивалентная длина тройника при входе магистрального трубопровода в распределительную сеть, эквивалентная длина поворотов в распределительной сети.

$$L_{тр_э} = 76,4 \cdot 1,3 \cdot 0,0225^{1,25} = 0,865 \text{ м, при } \xi_{тр} = 1,3;$$

$$L_{пов_э} = 76,4 \cdot 1,1 \cdot 0,0225^{1,25} = 0,732 \text{ м, при } \xi_{тр} = 1,1;$$

$$L_{j_э} = 4 + 0,865 + 0,732 = 5,6 \text{ м.}$$

Далее определяем гидравлическую характеристику для каждого насадка в соответствии с методикой расчета. Для симметричной и сбалансированной схемы разводки, которой является приведенной в примере схемы расчета, достаточно определить гидравлическую характеристику для одного из направлений, так как значения Π_1 и Π_2 будут равны между собой.

$$\Pi = 1,1 \cdot 10^{-8} \left(\frac{4 \cdot 22,7}{0,0334^{5,25}} + 1,1 \frac{1 \cdot 5,6}{0,0225^{5,25}} \right) = 86,55.$$

Далее определим величину K :

$$K = 1/\mu F_H \Pi^{0,5} = 1/0,6 \cdot 3,34 \cdot 10^{-4} \cdot 86,55^{0,5} = 536,4.$$

В соответствии с формулой (15), определим реальное значение приведенного расхода:

$$J = -740 + 38,6(536,4) - 0,024(536,4)^2 + 7,29 \cdot 10^{-6} \cdot (536,4)^3 - 8,4 \cdot 10^{-10} (536,4)^4 = 14115 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

В соответствии с формулой (2), определим массовый расход через оба насадка:

$$G = 14115 \cdot 0,6 \cdot 6,67 \cdot 10^{-4} = 5,6 \text{ кг/с.}$$

Расчетное время истечения составит:

$$t = 40/5,6 = 7,1 \text{ с.}$$

Результаты расчетов показывают, что выбранная проточная часть трубопроводной разводки соответствует нормативным параметрам, и ее корректировка не требуется. Если нормативное время меньше полученного

в расчетах, то необходима корректировка проточной части.

Возможны два варианта проведения корректировки: изменение диаметров трубопроводов или изменение длины трубопроводов. В данном случае необходимо увеличить диаметры трубопроводов или сократить их длины.

Целесообразно произвести корректировку изменением диаметров подводящих трубопроводов, так как обычно длина трубопроводов зависит от технологических особенностей защищаемого помещения и места расположения модулей (баллонов), что на практике весьма трудно изменить.

При изменении диаметров трубопроводов можно использовать следующую ориентировочную практическую рекомендацию: если время истечения газа из установки превышает нормативную величину в n раз, то следует увеличить диаметры трубопроводов в $n^{0,5}$ раз, что соответствует увеличению проходных сечений в n раз. В виду того, что площади проходных сечений трубопроводов отличаются между собой на величину постоянных коэффициентов, можно использовать результаты расчетов первого приближения, увеличивая, соответственно, площади проходных сечений или диаметров в одинаковое число раз. Если время истечения газа, в результате расчетов первого приближения, получилось намного ниже нормативного, то можно, при необходимости, его увеличить, соответственно уменьшая площади проходных сечений трубопроводов.

Представляет интерес определить давление газа перед насадками, для расчета которого необходимо определить величину Y :

$$Y = (J/K)^2 = (14115/536,4)^2 = 692,4.$$

Давление газа перед насадками определяется по формуле (17):

$$P = 2,02 + 1,66 \cdot 10^{-4} (692,4) - 1,67 \cdot 10^{-6} (692,4)^2 = 1,335 \text{ МПа.}$$

В дополнение, рассчитаем параметры несимметричной схемы трубопроводной разводки, используя некоторые элементы предыдущей схемы. Новая схема показана на рис. 2. Количество газа, тип баллона, размеры магистрального трубопровода и одна из двух частей распределительного

трубопровода сохранены полностью, во второй ветви распределительного трубопровода диаметр трубопровода принят таким же, как на схеме рис. 1, а длина второй ветви составляет 10 м, в отличие от 4 м.

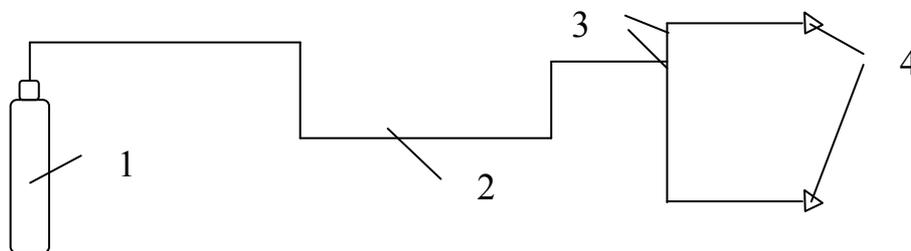


Рис. 2. Несимметричная схема распределительной системы трубопроводной разводки.

1 – баллон с газом; 2 – магистральный трубопровод; 3 – распределительные трубопроводы; 4 – насадки.

Используем данные из предыдущего примера, за исключением второй части распределительного трубопровода.

Таким образом, эквивалентная длина магистрального трубопровода составляет 22,7 м. Гидравлическая характеристика для 1-го насадка (при геометрической длине распределительного трубопровода 4 м) составляет $\Pi_1=86,55$ (как и ранее). Гидравлическую характеристику для 2-го насадка необходимо вычислить с учетом изменившихся данных.

Ввиду того, что внутренний диаметр для распределительного трубопровода одинаков, эквивалентные длины для местных сопротивлений и тройника в распределительной части для 2-го насадка можно также заимствовать из первого расчета.

$$L_{j_{э2}} = 10 + 0,865 + 0,732 = 11,6 \text{ м,}$$

$$\Pi_2 = 1,1 \cdot 10^{-8} \left(\frac{4 \cdot 22,7}{0,0334^{5,25}} + 1,1 \frac{1 \cdot 11,59}{0,0225^{5,25}} \right) = 119.$$

Рассчитаем значения коэффициентов K для обоих насадков:

$$K_1 = 1/\mu F_H \Pi_1^{0,5} = 1/0,6 \cdot 3,34 \cdot 10^{-4} \cdot 86,55^{0,5} = 536,4$$

$$K_2 = 1/\mu F_H \Pi_2^{0,5} = 1/0,6 \cdot 3,34 \cdot 10^{-4} \cdot 119^{0,5} = 457,4$$

В соответствии с формулой (15) рассчитаем значения приведенных расходов J_1 и J_2 , соответственно для первого и второго насадка:

$$J_1 = 14115 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с} \text{ (из первого примера),}$$

$$J_2 = -740 + 38,6(457,4) - 0,024(457,4)^2 + 7,29 \cdot 10^{-6}(457,4)^3 - 8,4 \cdot 10^{-10}(457,4)^4 = 12554 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}.$$

Массовые расходы через насадки равны соответственно:

$$G_1 = 14115 \cdot 0,6 \cdot 3,34 \cdot 10^{-4} = 2,82 \text{ кг/с},$$

$$G_2 = 12554 \cdot 0,6 \cdot 3,34 \cdot 10^{-4} = 2,5 \text{ кг/с},$$

$$G_{\Sigma} = 5,32 \text{ кг/с},$$

$$t = m/G_{\Sigma} = 40/5,32 = 7,52 \text{ с}.$$

Необходимо отметить, что в этом случае время выхода газа соответствует нормативным параметрам.

Определим давление перед насадками в данном случае.

$$Y_1 = (J/K)^2 = (14115/536,4)^2 = 692,4.$$

$$Y_2 = (J/K)^2 = (12554/457,4)^2 = 753,3$$

$$P_1 = 2,02 + 1,66 \cdot 10^{-4} (692,4) - 1,67 \cdot 10^{-6} (692,4)^2 = 1,335 \text{ МПа}.$$

$$P_2 = 2,02 + 1,66 \cdot 10^{-4} (753,3) - 1,67 \cdot 10^{-6} (753,3)^2 = 1,2 \text{ МПа}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.

Гидравлический расчет распределительной сети установки газового пожаротушения на основе хладона 125 в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.

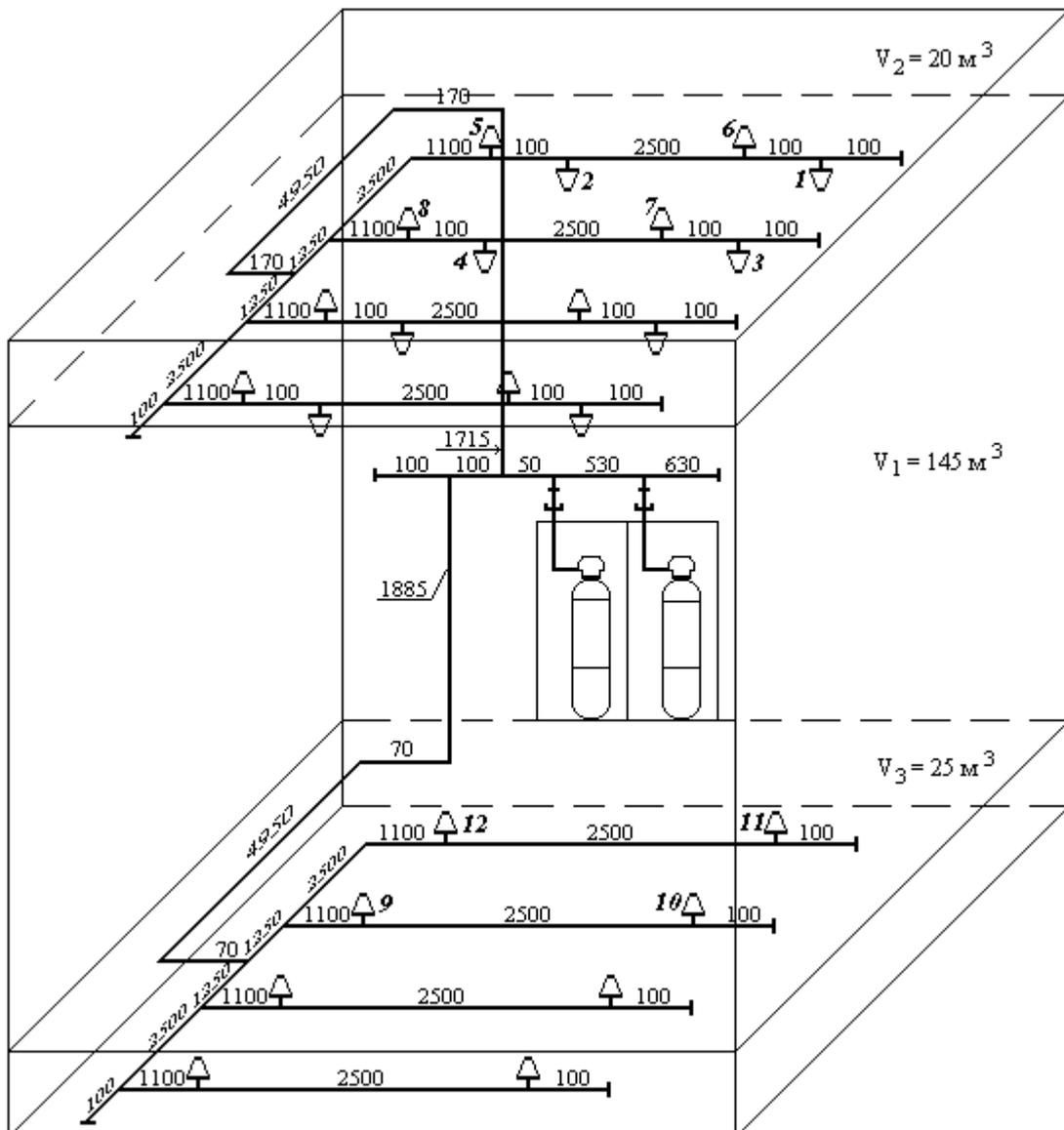


Рис. 3. Аксонометрия трубной разводки помещения.

1...12 – насадки АУГП.

Давление в модулях при 20°C составляет 2,5 МПа.

1. Масса хладона 125, необходимая для тушения пожара в объемах V_1, V_2, V_3 :

$$M_1 = 86,24 \text{ кг}; M_2 = 11,89 \text{ кг}; M_3 = 14,87 \text{ кг}.$$

2. Суммарная площадь проходных сечений насадков в трех объемах:

$$F_{\text{сн}1} = 86,24 / 10000 \cdot 0,6 \cdot 10 = 14,37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{сн}2} = 11,89 / 10000 \cdot 0,6 \cdot 10 = 1,98 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{сн}3} = 14,87 / 10000 \cdot 0,6 \cdot 10 = 2,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Здесь 10 с – нормативное время подачи хладона 125 из модульной установки, $J = 10000 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ – ориентировочное (начальное) значение приведенного расхода для хладона 125.

3. В виду того, что по схеме в каждом объеме установлено по 8 насадков, определим площади проходных сечений каждого насадка в различных объемах:

$$F_{\text{н}1} = F_{\text{сн}1} / 8 = 14,37 \cdot 10^{-4} / 8 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{н}2} = F_{\text{сн}2} / 8 = 1,98 \cdot 10^{-4} / 8 = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{н}3} = F_{\text{сн}3} / 8 = 2,48 \cdot 10^{-4} / 8 = 0,31 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

4. Определим площади проходных сечений распределительных трубопроводов (рядков).

При подаче в нижний объем V_3 :

$$F_p = 1,25 \cdot 2 \cdot 0,31 \cdot 10^{-4} = 0,775 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

при условии того, что на каждом рядке установлено по 2 насадка, а коэф-

коэффициент A_p принят равным 1,25.

В верхней части, ввиду того, что один рядок питает два насадка в объеме V_1 и два насадка в объеме V_2 , площадь проходного сечения рядка определяется по формуле:

$$F_{p1-2} = 1,25 \cdot 2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} + 1,25 \cdot 2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-4} = 5,125 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Определяем диаметры распределительных трубопроводов по формуле:

$$D = \left[\frac{4 \cdot F_p}{\pi} \right]^{0,5}.$$

$$D_{p1-2} = \left[\frac{4 \cdot 5,125 \cdot 10^{-4}}{3,14} \right]^{0,5} = 0,02555 \text{ м. Округляем до } 0,026 \text{ м.}$$

$$d_{p3} = \left[\frac{4 \cdot 0,775 \cdot 10^{-4}}{3,14} \right]^{0,5} = 0,00994 \text{ м. Округляем до } 0,011 \text{ м.}$$

5. Произведем расчет размеров магистрального трубопровода для каждого объема отдельно (имея ввиду, что магистральный трубопровод, питающий объемы V_1 и V_2 , должен учитывать их суммарную пропускную способность). Каждый из магистральных трубопроводов должен обеспечивать питание 4-х распределительных трубопроводов.

$$F_{m1-2} = 1,1 \cdot 4 \cdot 5,125 \cdot 10^{-4} = 22,55 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$D_{m1-2} = 0,0536 \text{ м. Округляем до } 0,054 \text{ м.}$$

$$F_{m3} = 1,1 \cdot 4 \cdot 0,775 \cdot 10^{-4} = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$D_{m3} = 0,0208 \text{ м. Округляем до } 0,026 \text{ м.}$$

6. Расчет размеров баллонного коллектора.

Внутренний диаметр баллонного коллектора определяется по формуле:

$$D_k = 2^{0,5} \cdot d_{зпу} = 2^{0,5} \cdot 0,038 = 0,0537 \text{ м. Округляем до } 0,054 \text{ м.}$$

Здесь $d_{зпу}$ – диаметр проходного сечения запорно-пускового устройства модуля (баллона). Расчет эквивалентных длин трубопроводов, подводящих газ к объему V_1 .

7. Магистральный трубопровод.

$$L_{m_3} = L_m + L_{\bar{6}} + L_k + L_{mc} .$$

Эквивалентная длина магистрального трубопровода, питающего распределительные трубопроводы и насадки первого объема, состоит из эквивалентной длины модулей (баллонов), коллектора, геометрической длины магистрального трубопровода и эквивалентной длины местных сопротивлений, расположенных на магистральном трубопроводе (повороты, тройники и т.д.).

$L_{\bar{6}1} = 14$ м, приведенная к диаметру запорно-пускового устройства – $d_{зпу} = 0,038$ м.

$L_{\bar{6}\Sigma} = L_{\bar{6}1} / n^2 = 14 / 2^2 = 3,5$ м, ввиду того, что количество баллонов в установке равно 2.

Приводим эквивалентную длину баллонов к магистральному трубопроводу:

$$L_{\bar{6}_3} = L_{\bar{6}\Sigma} (D_m / D_k)^{5,25} = 3,5 (0,054 / 0,054)^{5,25} = 3,5 \text{ м.}$$

Эквивалентная длина коллектора включает геометрическую длину коллектора и эквивалентную длину местных сопротивлений (два тройника с $\xi_{тр} = 1,3$).

$$L_k = 0,58 + 2 \cdot 1,3 \cdot 76,4 \cdot 0,054^{1,25} = 5,751 \text{ м.}$$

Приводим к размерам магистрального трубопровода.

$$L_{k_3} = 5,751 (0,054 / 0,054)^{5,25} = 5,751 \text{ м.}$$

Геометрическая длина магистрального трубопровода L_m , питающего объемы V_1 и V_2 , равна 7,005 м, исходя из аксонометрической схемы (рис. 3).

Рассчитаем эквивалентную длину местных сопротивлений на магистральном трубопроводе. Местные сопротивления включают два тройника на входе и выходе из магистрального трубопровода ($\xi_{тр} = 1,3$) и три плав-

ных поворота ($\xi_{пов} = 0,15$).

$$L_{мс} = 76,4 \cdot 3 \cdot \xi_{пов} \cdot 0,054^{1,25} + 76,4 \cdot 2 \cdot \xi_{тр} \cdot 0,054^{1,25},$$

$$L_{мс} = 76,4 \cdot 0,054^{1,25} (3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 1,3) = 6,066 \text{ м.}$$

$$L_{мсэ} = 6,066(0,054/0,054)^{5,25} = 6,066 \text{ м}$$

$$L_{мэ} = 7,005 + 3,5 + 5,751 + 6,066 = 22,322 \text{ м.}$$

8. Эквивалентные длины распределительных трубопроводов до соответствующих насадков.

8.1. Насадок № 1 (в соответствии с аксонометрической схемой, приведенной на рис. 3).

Эквивалентная длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 1 равна сумме геометрической длины и эквивалентной длины местных сопротивлений по пути к насадку №2 (На этой длине работают два насадка) и дополнительно геометрической длины 2,6м и одному тройнику на пути от насадка №2 к насадку №1 (На этой длине работает один насадок). (см. рис. 3).

Местные сопротивления на дополнительной длине равны одному тройнику - $\xi_{тр} = 1,3$.

Эквивалентная длина дополнительного местного сопротивления составляет:

$L_{мс} = 76,4 \times \zeta \times D_p^{1,25} = 76,4 \times 1,3 \times 0,026^{1,25} = 1,04 \text{ м}$ Общая эквивалентная длина равна дополнительного участка составляет:

$$L_{1доп} = 1,04 + 2,6 = 3,64 \text{ м}$$

8.2. Насадок № 2.

В качестве местных сопротивлений в этом случае рассчитываются один плавный поворот и три тройника.

Геометрическая длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 2 равна $L_2 = 4,95 \text{ м}$.

Эквивалентная длина местных сопротивлений составляет:

$$L_{mc2} = 76,4 \times (0,15 + 3 \times 1,3) \times 0,026^{1,25} = 3,22 \text{ м.}$$

Общая эквивалентная длина равна:

$$L_{2э} = 4,95 + 3,22 = 8,16 \text{ м.}$$

8.3. Насадок № 3.

Эквивалентная длина на пути к насадку № 3 равна эквивалентной длине на пути к насадку №4 (На этом участке работают два насадка) и дополнительной длины, равной геометрической длине между насадками № 3 и 4 и одного местного сопротивления в виде тройника (На этом дополнительном участке работает один насадок).

Эквивалентная длина местного сопротивления (по аналогии с предыдущими насадками) составляет:

$$L_{mc} = 76,4 \times \zeta \times D_p^{1,25} = 76,4 \times 1,3 \times 0,026^{1,25} = 1,04 \text{ м.}$$

Общая эквивалентная длина дополнительного участка равна:

$$L_{доп3} = 2,6 + 1,04 = 3,64 \text{ м}$$

8.4. Насадок № 4.

В качестве местных сопротивлений в этом случае рассчитываются три тройника.

Геометрическая длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 4 равна $L_4 = 2,45 \text{ м.}$

Эквивалентная длина местных сопротивлений составляет:

$$L_{mc4} = 76,4 \times (1,3 \times 3) \times 0,026^{1,25} = 3,1 \text{ м.}$$

Общая эквивалентная длина составляет:

$$L_{4э} = 2,45 + 3,1 = 5,5 \text{ м.}$$

Ввиду того, что распределительная сеть, в соответствии с аксонометрической схемой, является симметричной, эквивалентные длины распределительных трубопроводов по пути к другим насадкам, входящим в состав этой распределительной сети, не определяются.

9. Расчет приведенных гидравлических характеристик.

Приведенные гидравлические характеристики рассчитываются для насадков № 1, 2, 3 и 4 отдельно.

9.1. Для насадки № 1 (как и для других насадков) приведенная гидравлическая характеристика определяется по формуле:

$$\Pi_i = 1,1 \cdot 10^{-8} \left(\frac{N_i^2 L_{m_3}}{D_m^{5,25}} + 1,1 \cdot \sum_{j=1}^{N_i} \frac{n_j^2 L_{j_3}}{D_j^{5,25}} \right),$$

где N_i – число насадков в i -ом помещении; D_j , L_{j_3} – внутренний диаметр и эквивалентная длина j -того участка распределительного трубопровода или рядка по пути к конкретному насадку, м; n_j – число насадков, питаемых по j -му участку; L_{m_3} – эквивалентная длина магистрального трубопровода.

$$\Pi_1 = 1,1 \times 10^{-8} \{ (8^2 \times 22,3) / 0,054^{5,25} + 1,1 [(2^2 \times 8,16) / 0,026^{5,25} + (1^2 \times 3,34) / 0,026^{5,25}] \} = 180;$$

$$\Pi_2 = 1,1 \times 10^{-8} \{ (8^2 \times 22,3) / 0,054^{5,25} + 1,1 [(2^2 \times 8,16) / 0,026^{5,25}] \} = 169,8;$$

$$\Pi_3 = 1,1 \times 10^{-8} \{ (8^2 \times 22,3) / 0,054^{5,25} + 1,1 [(2^2 \times 5,5) / 0,026^{5,25} + (1^2 \times 3,64) / 0,026^{5,25}] \} = 148,7;$$

$$\Pi_4 = 1,1 \times 10^{-8} \{ (8^2 \times 22,3) / 0,054^{5,25} + 1,1 [(2^2 \times 5,5) / 0,026^{5,25}] \} = 180;$$

$$\Pi_{cp1-4} = (180 + 169,8 + 148,7 + 180) / 4 = 159$$

Определим значение параметра K , соответствующего среднему значению приведенной гидравлической характеристике:

$$K = 1 / (\mu \times F \times \Pi_{cp1-4}^{0,5}) = 1 / (0,6 \times 1,8 \times 10^{-4} \times 159^{0,5}) = 734$$

Рассчитаем значение приведенного расхода J :

$$J = -740 + 38,6(K) - 0,024(K)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (K)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (K)^4$$

$$J = -740 + 38,6(734) - 0,024(734)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (734)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (734)^4$$

$$J = 17305 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

Расход газа через все насадки (8 шт.) в объем V_1 составит:

$$G_{c1} = \mu \times F_{cн1} \times J = 0,6 \times 14,37 \times 17305 = 14,9 \text{ кг/с.}$$

Время истечения газа составит:

$$t = M_1 / G_{c1} = 86,24 / 14,9 = 5,78 \text{ с.}$$

Ввиду того, что подача газа в объемы V_1 и V_2 осуществляется через один магистральный трубопровод и через одни и те же распределительные трубопроводы, расход газа в объем V_2 может быть определен по формуле (при сохранении одинакового значения приведенного расхода):

$$G_{c2} = \mu \times F_{сн2} \times J = 0,6 \times 1,98 \times 10^{-4} \times 17305 = 2,05 \text{ кг/с.}$$

Время подачи газа в объем V_2 составит:

$$t_2 = 11,89 / 2,05 = 5,8 \text{ с.}$$

Значения времени подачи газа в объемы V_1 и V_2 соответствуют нормативным значениям, что позволяет считать расчет в этом отношении законченным.

11. Гидравлический расчет распределительной сети для объема V_3 .

Расчет эквивалентных длин трубопроводов, подводящих газ к объему V_3 .

Магистральный трубопровод:

$$L_{m_3} = L_m + L_{\bar{6}} + L_k + L_{mc}$$

Эквивалентная длина магистрального трубопровода, питающего распределительные трубопроводы и насадки третьего объема, состоит из эквивалентной длины модулей (баллонов), коллектора, геометрической длины магистрального трубопровода и эквивалентной длины местных сопротивлений, расположенных на магистральном трубопроводе (повороты, тройники и т.д.).

$L_{\bar{6}1} = 14 \text{ м}$ (приведенный к диаметру запорно-пускового устройства – $d_{зпу} = 0,038 \text{ м}$).

$$L_{\bar{6}\Sigma} = L_{\bar{6}3} / n^2 = 14 / 2^2 = 3,5 \text{ м,}$$

ввиду того, что количество баллонов в установке равно 2.

Приводим эквивалентную длину баллонов к коллекторному трубопроводу:

$$L_{\bar{6}3} = L_{\bar{6}\Sigma} (D_m / D_k)^{5,25} = 3,5 (0,026 / 0,054)^{5,25} = 0,075 \text{ м.}$$

Эквивалентная длина коллектора включает геометрическую длину коллектора и эквивалентную длину местных сопротивлений (два тройника $\xi_{тр} = 1,3$).

$$L_k = 0,58 + 76,4 \cdot 2 \cdot 1,3 \cdot 0,054^{1,25} = 5,75 \text{ м.}$$

Приводим к размерам магистрального трубопровода:

$$L_{кэ} = 5,75(0,026/0,054)^{5,25} = 0,124 \text{ м.}$$

Геометрическая длина магистрального трубопровода, питающего объем V_3 :

$$L_m = 5,09 \text{ м, исходя из аксонометрической схемы.}$$

Рассчитаем эквивалентную длину местных сопротивлений на магистральном трубопроводе (магистральный трубопровод имеет в этом случае диаметр, равный 0,026 м).

Местные сопротивления включают два тройника на входе и выходе из магистрального трубопровода ($\xi_{тр} = 1,3$) и три плавных поворота ($\xi_{пов} = 0,15$)

$$L_{мс} = 76,4(3 \times \xi_{пов} + 2 \times \xi_{тр}) \times 0,026^{1,25} ,$$

$$L_{мс} = 76,4(3 \times 0,15 + 2 \times 1,3) \times 0,026^{1,25} = 2,43 \text{ м. ,}$$

$$L_{мэ} = 5,09 + 0,075 + 0,124 + 2,43 = 8,5 \text{ м.}$$

12. Эквивалентные длины распределительных трубопроводов до соответствующих насадков.

12.1. Насадок № 9.

Эквивалентная длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 9 равна сумме геометрической длины и эквивалентной длины местных сопротивлений.

Геометрическая длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 9 равна $L_9 = 2,35$ м. (см. аксонометрическую схему установки на рис. 3).

Местные сопротивления складываются из двух тройников - $\xi_{тр} = 1,3$.

$$L_{мс9} = 76,4 \times 1,3 \times 2 \times 0,011^{1,25} = 0,71 \text{ м.}$$

$$L_{39} = 2,35 + 0,71 = 3,06 \text{ м.}$$

12.2. Насадок № 10.

Эквивалентная длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 10 равна сумме геометрической длины и эквивалентной длины местных сопротивлений до насадка № 9 (На этом участке работают два насадка) и дополнительной длины 2,5 м. (На этом участке между насадками № 9 и 10 работает один насадок).

Геометрическая длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 10 равна $L_{10} = 4,85$ м. (см. аксонометрическую схему установки на рис. 3).

12.3. Насадок № 11.

Эквивалентная длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 11 равна сумме геометрической длины и эквивалентной длины местных сопротивлений для насадка № 12 и дополнительной длины 2,5 м. между насадками № 11 и 12.

12.4. Насадок № 12.

Эквивалентная длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 12 равна сумме геометрической длины и эквивалентной длины местных сопротивлений.

Геометрическая длина распределительного трубопровода по пути к насадку № 12 равна $L_{12} = 4,85$ м. (см. аксонометрическую схему установки на рис. 3).

Местные сопротивления складываются из двух тройников - $\xi_{тр} = 1,3$
и одного плавного поворота $\xi_{пов} = 0,15$.

$$L_{12мс} = 76,4 \times \sum \zeta \times D_p^{1,25} = 76,4 \times 2,75 \times 0,011^{1,25} = 0,748 \text{ м.}$$

$$L_{12э} = 4,85 + 0,748 = 5,6 \text{ м.}$$

13. Расчет приведенной гидравлической характеристики для каждого насадка.

13.1. Насадок № 9.

$$\Pi_9 = 1,1 \times 10^{-8} \{ [(8^2 \times 8,5) / 0,026^{5,25}] + 1,1 [(2^2 \times 3,06) / 0,011^{5,25}] \} = 4135;$$

13.2. Насадок № 10.

$$\Pi_{10} = 1,1 \times 10^{-8} \{ (8^2 \times 8,5) / 0,026^{5,25} + 1,1 [(2^2 \times 3,06) / 0,011^{5,25} + (1^2 \times 2,5) / 0,011^{5,25}] \} = 4711;$$

13.2. Насадок № 11.

$$\Pi_{11} = 1,1 \times 10^{-8} \{ (8^2 \times 8,5) / 0,026^{5,25} + 1,1 [(2^2 \times 5,6) / 0,011^{5,25} + (1^2 \times 2,5) / 0,011^{5,25}] \} = 7237;$$

13.3. Насадок № 12.

$$\Pi_{12} = 1,1 \times 10^{-8} \{ (8^2 \times 8,5) / 0,026^{5,25} + 1,1 [(2^2 \times 5,6) / 0,011^{5,25}] \} = 6657;$$

$$\Pi_{ср} = (4135 + 4711 + 7237 + 6657) / 4 = 5684$$

$$K = 1 / (0,6 \times 0,31 \times 10^{-4} \times 5684^{0,5}) = 714$$

Рассчитаем значение приведенного расхода J:

$$J = -740 + 38,6(K) - 0,024(K)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (K)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (K)^4$$

$$J = -740 + 38,6(714) - 0,024(714)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (714)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (714)^4$$

$$J = 17024 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

Расход газа через все насадки (8 шт.) в объем V_3 составит:

$$G_{c3} = \mu \times F_{cнз} \times J = 0,6 \times 2,48 \times 17024 = 2,53 \text{ кг/с.}$$

Время истечения газа составит:

$$t = M_3 / G_{c3} = 14,87 / 2,53 = 5,87 \text{ с.}$$

Время подачи газа во все защищаемые объемы должны быть равными. Допускается различие времени подачи не более $\pm 10\%$.

В прилагаемом расчете различие времени подачи составляет:

$$\Delta t = t_{1-2} - t_3 = 5,87 - 5,78 = 0,09 \text{ с, что составляет менее } 1,6 \text{ \%}.$$

Это различие допустимо, и коррекцию расчета можно не производить. Если это различие будет составлять величину более 10%, необходимо произвести коррекцию расчета размеров распределительной сети установки. В частности, при значениях времени подачи больше указанных выше величин, необходимо увеличить размеры проходных сечений трубопроводов или сократить их длины. При значениях времени подачи меньших указанных, уменьшить размеры поперечных сечений.

14. Одним из условий правильного формирования проточной части распределительной трубопроводной сети установок газового пожаротушения является соблюдение того обстоятельства, чтобы внутренний объем распределительной сети не превышал 80% объема жидкой фазы газа, находящегося в модулях установки. Произведем проверку этого условия.

Объем коллектора:

$$V_k = F_k \cdot \ell_k = 0,0023 \cdot 1,41 = 0,00324 \text{ м}^3.$$

Объем магистрального трубопровода на пути к объемам V_1 и V_2 :

$$V_{m1-2} = 22,55 \cdot 10^{-4} \cdot 7,005 = 0,0158 \text{ м}^3.$$

Объем магистрального трубопровода к объему V_3 :

$$V_{m3} = 3,41 \times 10^{-4} \times 8,5 = 0,00289 \text{ м}^3.$$

Объем рядков ($V_1 - V_2$):

$$V_{p1-2} = 23,2 \times 5,3 \times 10^{-4} = 0,0123 \text{ м}^3.$$

Объем рядков (V_3):

$$V_{p3} = 22,4 \times 0,775 \times 10^{-4} = 0,00212 \text{ м}^3.$$

Суммарный объем распределительной сети:

$$V_c = 0,0363 \text{ м}^3.$$

Объем жидкой фазы в модулях:

$V_{жф} = M_{хл} / \rho_x = 113 / 1167 = 0,0968 \text{ м}^3$. Таким образом, объем распределительной сети составляет 37,5% от объема жидкой фазы, что соответствует принятым ранее ограничениям.

15. Расчет давлений на насадках:

15.1. Распределительная сеть к объемам $V_1 - V_2$:

15.1.1. Насадок № 1.

$$П_1 = 180 ; K = 1 / (0,6 \times 1,8 \times 10^{-4} \times 180^{0,5}) = 690$$

$$Y = (J/K)^2 = (16675/690)^2 = 584;$$

$$J = - 740 + 38,6(690) - 0,024(690)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (690)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (690)^4$$

$$J = 16675 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}.$$

$$P_1 = 2,02 + 0,000166(584) - 1,67 \times 10^{-6} \times (584)^2 = 1,548 \text{ МПа}.$$

15.1.2. Насадок № 2.

$$П_2 = 169,8; K = 709;$$

$$J = - 740 + 38,6(K) - 0,024(K)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (K)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (K)^4$$

$$J = - 740 + 38,6(709) - 0,024(709)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (709)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (709)^4$$

$$J = 16954 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}.$$

$$Y = (J/K)^2 = (16954/709)^2 = 572$$

$$P_2 = 2,02 + 0,000166(572) - 1,67 \times 10^{-6} \times (572)^2 = 1,569 \text{ МПа}.$$

15.1.3. Насадок № 3.

$$П_3 = 148,7; K = 759;$$

$$Y = (J/K)^2 = (17646 / 759)^2 = 540;$$

$$J = - 740 + 38,6(759) - 0,024(759)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (759)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (759)^4$$

$$J = 17646 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$$P_3 = 2,02 + 0,000166(540) - 1,67 \times 10^{-6} \times (540)^2 = 1,62 \text{ МПа}.$$

15.1.4. Насадок № 4.

$$П_4 = 137,6; K = 787;$$

$$Y = (J/K)^2 = (18009/787)^2 = 523,6;$$

$$J = - 740 + 38,6(787) - 0,024(787)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (787)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (787)^4 \\ = 18009 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$P_4 = 2,02 + 0,000166(523,6) - 1,67 \times 10^{-6} \times (523,6)^2 = 1,649 \text{ МПа.}$$

15.2. Распределительная сеть к объему V_3 .

15.2.1. Насадок № 9.

$$P_9 = 4135; K = 833;$$

$$Y = (J/K)^2 = (18577/833)^2 = 497;$$

$$J = - 740 + 38,6(833) - 0,024(833)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (833)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (833)^4 \\ = 18577 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$P_9 = 2,02 + 0,000166(497) - 1,67 \times 10^{-6} \times (497)^2 = 1,69 \text{ МПа.};$$

15.2.2. Насадок № 10.

$$P_{10} = 4711; K = 783;$$

$$Y = (J/K)^2 = (17958/783)^2 = 526;$$

$$J = - 740 + 38,6(783) - 0,024(783)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (783)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (783)^4 \\ = 17958 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$P_{10} = 2,02 + 0,000166(526) - 1,67 \times 10^{-6} \times (526)^2 = 1,645 \text{ МПа.};$$

15.2.3. Насадок № 11.

$$P_{11} = 7237; K = 632;$$

$$Y = (J/K)^2 = (15778/632)^2 = 623;$$

$$J = - 740 + 38,6(632) - 0,024(632)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (632)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (632)^4 \\ = 15778 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$P_{11} = 2,02 + 0,000166(623) - 1,67 \times 10^{-6} \times (623)^2 = 1,475 \text{ МПа.};$$

15.2.4. Насадок № 12.

$$P_{12} = 6657; K = 659;$$

$$Y = (J/K)^2 = (16205/659)^2 = 605;$$

$$J = - 740 + 38,6(659) - 0,024(659)^2 + 7,3 \times 10^{-6} \times (659)^3 - 8,4 \times 10^{-10} (659)^4 \\ = 16205 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$P_{12} = 2,02 + 0,000166(605) - 1,67 \times 10^{-6} \times (605)^2 = 1,509 \text{ МПа.};$$

Как видно из приведенного расчета, разница между давлениями на насадках, а, следовательно, и расходами газа через насадки, установленные на одном участке распределительной сети, составляет величину порядка 13,5%, что является вполне допустимой и не противоречащей существующим в настоящее время нормативным документам (НПБ 88-2001*).

16. В заключении укажем размеры насадков и трубной разводки, применительно к заданной аксонометрической схеме.

Насадки: № 1, 2, 3, 4 и симметричные им, подающие газ в объем V_1 .

$$F_{н1} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, F_{сн1} = 14,37 \cdot 10^{-4}, 8 \text{ насадков.}$$

Насадки № 5, 6, 7, 8 и симметричные им, подающие газ в объем V_2 .

$$F_{н2} = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, F_{сн2} = 1,98 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, 8 \text{ насадков.}$$

Насадки № 9 - 12 и симметричные им, подающие газ в объем V_3 .

$$F_{н3} = 0,31 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, F_{сн3} = 2,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, 8 \text{ насадков.}$$

Коллектор – $d_k = 0,054 \text{ м}$.

Магистральный трубопровод, питающий объемы $V_1 - V_2$:

$$D_{m1-2} = 0,054 \text{ м.}$$

Магистральный трубопровод, питающий объем V_3 :

$$D_{m3} = 0,026 \text{ м.}$$

Распределительные трубопроводы, питающие объемы $V_1 - V_2$:

$$D_{p1-2} = 0,026 \text{ м}$$

Распределительные трубопроводы, питающие объем V_3 :

$$D_{p3} = 0,011 \text{ м.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.

Коэффициенты местных сопротивлений, наиболее часто используемых элементов в распределительной сети установок газового пожаротушения.

1. Внезапное расширение трубопровода с площади поперечного сечения F_1 до F_2

Отношение площадей F_1/F_2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Величина ζ	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25	0,38	0,49	0,61	0,81

2. Внезапное сужение трубопровода с площади поперечного сечения F_1 до F_2

Отношение площадей F_2/F_1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Величина ζ	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45

3. Постепенное сужение стенок трубопровода под углом α .

Угол α , град.	7	15	25	40	50	75	85
Величина ζ	0,16	0,18	0,22	0,28	0,32	0,34	0,36

4. Резкий поворот трубопровода (Ось трубопровода изменяется на угол α).

Угол α , град.	30	40	50	60	70	80	90
Величина ζ	0,2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	1,1

5. Плавный поворот трубопровода на 90 град. при различном отношении диаметра трубопровода к радиусу поворота $D/R_{пов}$

$D/R_{пов}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
ζ	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98	1,41	1,98

5. Дроссельный клапан (α – угол поворота дроссельного клапана).

Угол поворота α , гр.	5	10	15	20	30	40	50	60
ζ	0,24	0,52	0,9	1,54	3,91	10,8	32,5	118

6. Пробковый кран (α – угол поворота пробкового крана).

Угол поворота α , гр.	10	15	20	30	40	60
ζ	0,29	0,75	1,56	5,47	17,3	206

7. Ответвления (тройники).

В настоящее время известные (опубликованные) значения коэффициентов сопротивления в ответвлениях сильно различаются между собой. В значительной мере процесс течения осложняется при наличии многофазных потоков. Это объясняется сложной картиной течения жидкости в ответвлениях, которая зависит от соотношения величин расходов в ответвлениях, соотношения составляющих газовой, паровой и жидкостной фракций в потоке, направления течения смеси в ответвлениях и т.п. При этом коэффициенты местных сопротивлений изменяются в диапазоне от 0,5 до 2,0. В этой связи, в данной работе коэффициент местного сопротивления в тройнике, используемом для отбора газа в насадке принят равным 1,3.