

## Руководство по подборке оборудования для автоматического пожаротушения (уровень инженера)

### I. Исходные данные для гидравлического расчета.

– масса огнетушащего вещества (ГОТВ), необходимая для создания нормативной огнетушащей концентрации в защищаемых помещениях с учетом вида пожарной нагрузки, негерметичности и других параметров, характеризующих помещение. Определяется по формулам в Приложение Е, СП 5.13130.2009;

– схема разводки трубопроводов с указанием направлений, длин отдельных участков трубопровода, модулей, распределительных устройств (если есть) и количества насадков;

– при проектировании трубопроводов, для общепромышленных объектов и объектов атомной промышленности норматив – СП 5.13130.2009 (п. 8.9); для военных объектов норматив – ВСН 21-02-01 (п. 7.7);

**Внимание!! При высоте защищаемого объема более 4-х метров, трубная разводка должна проектироваться в несколько ярусов (ВСН 21-02-01 (п. 7.8.5)) – требование для военных объектов. Для общепромышленных объектов и объектов атомной промышленности данное требование не обязательно;**

– нормативное время подачи огнетушащего вещества;

– коэффициенты заполнения ГОТВ в модуль. Определяются согласно Руководству по эксплуатации на модуль.

– рабочее давление в модулях;

– температура эксплуатации модулей и защищаемых помещений.

### II. Проектный расчет.

1) Суммарная площадь проходных сечений насадков:

$$F_{сн} = \frac{M_p}{J \cdot \mu \cdot t_n}$$

$F_{сн}$  – суммарная площадь проходных сечений насадков (м<sup>2</sup>);

$M_p$  – масса газового состава, необходимая для создания в защищаемом помещении нормативной огнетушащей концентрации (кг);

$J$  – приведенный расход газового состава, предварительно принимаемый в соответствии с таблицей (1) (кг/м<sup>2</sup>\*с):

Таблица (1)

Тип ОТВ	Приведенный расход, кг/м <sup>2</sup> *с
Хладон ХП125	10000 ± 500
Хладон 227еа (4,0-8,0 МПа)	(12000–15000) ± 500

$\mu$  – коэффициент расхода насадков, определенный 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.

В соответствии с п. 8.7.3, СП 5.13130.2009; для хладонов  $t_n = 10с$

1.1) Общее количество насадков на установке:

$$N_i = \frac{F_{сн}}{F_n}$$

$F_n$  – площадь поперечного сечения одного насадка ( $m^2$ );

$N_i$  – общее количество насадков в установке.

2) Исходя из того, что общее количество насадков знаем из расположения трубной разводки и планировки помещений - вычисляем площадь поперечного сечения одного насадка.

$$F_n = \frac{F_{сн}}{N_i}$$

Далее выбираем конкретный тип насадка с наиболее приближенным к расчетной площадью поперечного сечения.

3) Вычисляем площадь поперечного сечения рядка  $F_p$  (распределительного трубопровода) на котором установлено  $n_i$  насадков, и площадь поперечного сечения магистрального трубопровода  $F_m$  по формулам:

$$F_p = A_p \cdot F_n \cdot n_i$$

$$F_m = A_m \cdot \sum F_p$$

$F_p$  – площадь поперечного сечения рядка ( $m^2$ );

$A_p$  – коэффициент, принимаемый от 1.1 до 1.25 (Для первого расчета принимает 1.2);

$n_i$  – количество насадков, расположенных на одном рядке (шт);

$F_m$  – площадь поперечного сечения магистрального трубопровода ( $m^2$ );

$A_m$  – коэффициент, принимаемый от 1.0 до 1.1 (Для первого расчета принимает 1.1);

$\sum F_p$  – Суммарная площадь поперечного сечения всех рядков (распределительных трубопроводов) в установке ( $m^2$ ).

4) Суммарный внутренний объем трубопровода не должен превышать 80% объема жидкой фазы ГОТВ, хранимого во всех модулях.

Вычисляем объем жидкой фазы в модулях установки:

$$V_{ж} = \frac{M_{гоТВ}}{\rho_{жж}}$$

$V_{ж}$  – объем жидкой фазы ГОТВ в модулях установки ( $m^3$ );

$M_{гоТВ}$  – масса ГОТВ, хранимого в модулях установки (кг);

$\rho_{жж}$  – плотность жидкой фазы хладонов ( $кг/м^3$ ).

Таблица (2)

Тип ОТВ	Хладон 125	Хладон 227
$\rho_{жж}, кг/м^3$	1127	1410

### III. Поверочный расчет.

5) Исходя из полученных значений площадей поперечного сечения распределительного и магистрального трубопроводов, определяем диаметр магистрального трубопровода и диаметр распределительного трубопровода:

$$D_m = \sqrt{\frac{4 \cdot F_m}{\pi}}; \quad D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi}}$$

$D_m$  – диаметр магистрального трубопровода (м);

$D_p$  – диаметр распределительного трубопровода (м).

По рассчитанным значениям подбираем стандартные трубопроводы, имеющие ближайшее значение внутреннего диаметра.

б) Далее определяется тип модулей в установке и их количество:

$$n_m = \frac{M_p}{V_m \cdot \eta}$$

$n_m$  – количество модулей в установке (шт);

$V_m$  – объем модуля (л);

$\eta$  – коэффициент заполнения модуля (кг/л).

Полученное число модулей округляется в большую сторону.

7) Эквивалентная длина магистрального трубопровода:

$$L_{мэ} = L_m + L_{сб} + L_{ск} + L_{пу} + L_{пов}$$

$L_{мэ}$  – эквивалентная длина магистрального трубопровода (м);

$L_m$  – геометрическая длина магистрального трубопровода (м);

$L_{сб}$  – эквивалентная длина сборки модулей (батареи) (м);

$L_{ск}$  – эквивалентная длина стационарного коллектора (м);

$L_{пу}$  – эквивалентная длина распределительного устройства (м);

$L_{пов}$  – эквивалентная длина поворотов, тройников и других местных соединений, приведенных к диаметру магистрального трубопровода (м).

8) Площадь проходного сечения стационарного коллектора:

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

$F_{зпу}$  – площадь поперечного сечения ЗПУ (м<sup>2</sup>);

$n_{зпу}$  – количество ЗПУ в батарее (шт).

8.1) Вычисляем эквивалентную длину стационарного коллектора:

$$L_{ск} = (76,4 \cdot N_{ск} \cdot \zeta_{пов} \cdot D_{ск}^{1,25} + L_{гск}) \cdot \left(\frac{D_m}{D_{ск}}\right)^{5,25}$$

$L_{ск}$  – приведенная эквивалентная длина стационарного коллектора (м);

$N_{ск}$  – число поворотов на стационарном коллекторе (шт);

$\zeta_{пов}$  – коэффициент гидравлического сопротивления участка;

$L_{гск}$  – геометрическая длина стационарного коллектора (м);

$D_{ск}$  – диаметр стационарного коллектора (м).

9) Эквивалентная длина местного сопротивления конкретного участка трубопровода:

$$L_i = 76,4 \cdot \zeta_i \cdot (D_i)^{1,25}$$

$L_i$  – эквивалентная длина «i»-того участка трубопровода (м);

$\zeta_i$  – коэффициент гидравлического сопротивления местного сопротивления модуля (батареи) /сборки модулей/распределительного устройства/поворота/тройника /сужения или расширения трубопровода;

$D_i$  – диаметр трубопровода, на котором установлено местное сопротивление (м).

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

$$L_i = L_i^1 \left( \frac{D_m}{D_i} \right)^{5,25}$$

$L_i^1$  – эквивалентная длина элемента, принимаемая в соответствии с технической документацией (м);

$D_i$  – внутренний диаметр элемента (м).

11) Расчет гидравлической характеристики:

$$\Pi = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{N^2 \cdot L_{mэ}}{D_m^{5,25}} + 1,1 \cdot \sum_{i=1}^{N_i} \frac{n_j^2 \cdot L_{jэ}}{D_j^{5,25}} \right)$$

$N$  – число насадков в помещении (шт);

$L_{mэ}$  – эквивалентная длина магистрального трубопровода (м);

$D_j$  – внутренний диаметр  $j$ -го участка распределительного трубопровода или ряда по пути в конкретному насадку (м);

$L_{jэ}$  – эквивалентная длина  $j$ -го участка распределительного трубопровода (м);

$n_j$  – число насадков, питаемых по  $j$ -му участку (м).

11.1) Для симметричной и гидравлически сбалансированной схемы разводки:

$$\Pi_{cp} = \frac{\Pi_1 + \Pi_2}{2}$$

$\Pi_1$  и  $\Pi_2$  – гидравлические характеристики для диктующих насадков, давление перед которыми является наибольшим и наименьшим.

12) Приведенный расход:

$$J = A + B \cdot K + C \cdot K^2 + D \cdot K^3 + E \cdot K^4; \quad K = \frac{1}{\mu \cdot F_H \cdot \sqrt{\Pi_{cp}}}$$

$J$  – приведенный расход газового состава (кг/м<sup>2</sup>\*с);

$F_H$  – площадь поперечного сечения одного насадка (м<sup>2</sup>);

$A, B, C, D, E$  – коэффициенты, числовые значения которых приведены в таблице (3):

Таблица (3)

Тип ОТВ	A	B	C	D	E	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
Хладон 125 P=3,7-4,0 η=0,9	-462	40,9	-0,021	5,07*10 <sup>-6</sup>	-4,5*10 <sup>-10</sup>	3,1	+2,54*10 <sup>-4</sup>	-2,5*10 <sup>-6</sup>
Хладон 227 P=4,0 η=1,1	-1574	51,1	-0,033	9,99*10 <sup>-6</sup>	-1,1*10 <sup>-9</sup>	2,03	-4,7*10 <sup>-4</sup>	-3,4*10 <sup>-7</sup>

13) Далее определяем суммарный массовый расход:

$$G_{\Sigma} = J \cdot \mu \cdot F_{сн}$$

$G_{\Sigma}$  – суммарный массовый расход газового состава (кг/с);

$\mu$  – коэффициент расхода насадков, определенный по справочным данным для конкретного типа насадков или экспериментальным путем (обычно для многоструйных насадков принимают значение  $\mu = 0,6$ );

$F_{сн}$  – суммарная площадь проходных сечений **выбранных нами** насадков в конкретном объеме ( $m^2$ );

14) Время подачи ГОТВ определяется по формуле:

$$t = \frac{M_p}{G_{\Sigma}}; (с)$$

$M_p$  – масса газового состава, необходимая для создания в защищаемом помещении нормативной огнетушащей концентрации (кг);

Если расчетное время «t» превышает нормативное (10с), то существует несколько способов корректировки проточной части:

1. сократить расстояние между модулями (батареями) и насадками. Однако на практике, длина трубопровода часто зависит от технологических особенностей помещения, и изменить ее довольно трудно;
2. увеличить диаметры трубопроводов;
3. выбрать насадок с бóльшей суммарной площадью сечения распылительных отверстий.

15) Давление перед насадками определяется по формуле:

$$P = A_1 + B_1 \cdot Y + C_1 \cdot Y^2; \text{ МПа} \quad Y = \left( \frac{J}{K_i} \right)^2$$

$A_1, B_1, C_1$  – коэффициенты, числовые значения которых приведены в таблице (3)

$K_i$  – принимается для каждого насадка, перед которым необходимо определить давление.

**Необходимо стремиться к тому, чтобы давление перед каждым насадком было не менее 1.0 МПа!**

16) Распределение газа по нескольким защищаемым объемам:

В случае одновременной подачи ГОТВ из одной группы модулей по единой трубной разводке, когда по одним и тем же трубам тушатся, например, основной объем и фальшпотолок, расчет установки выполняется следующим образом. Производится гидравлический расчет 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:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

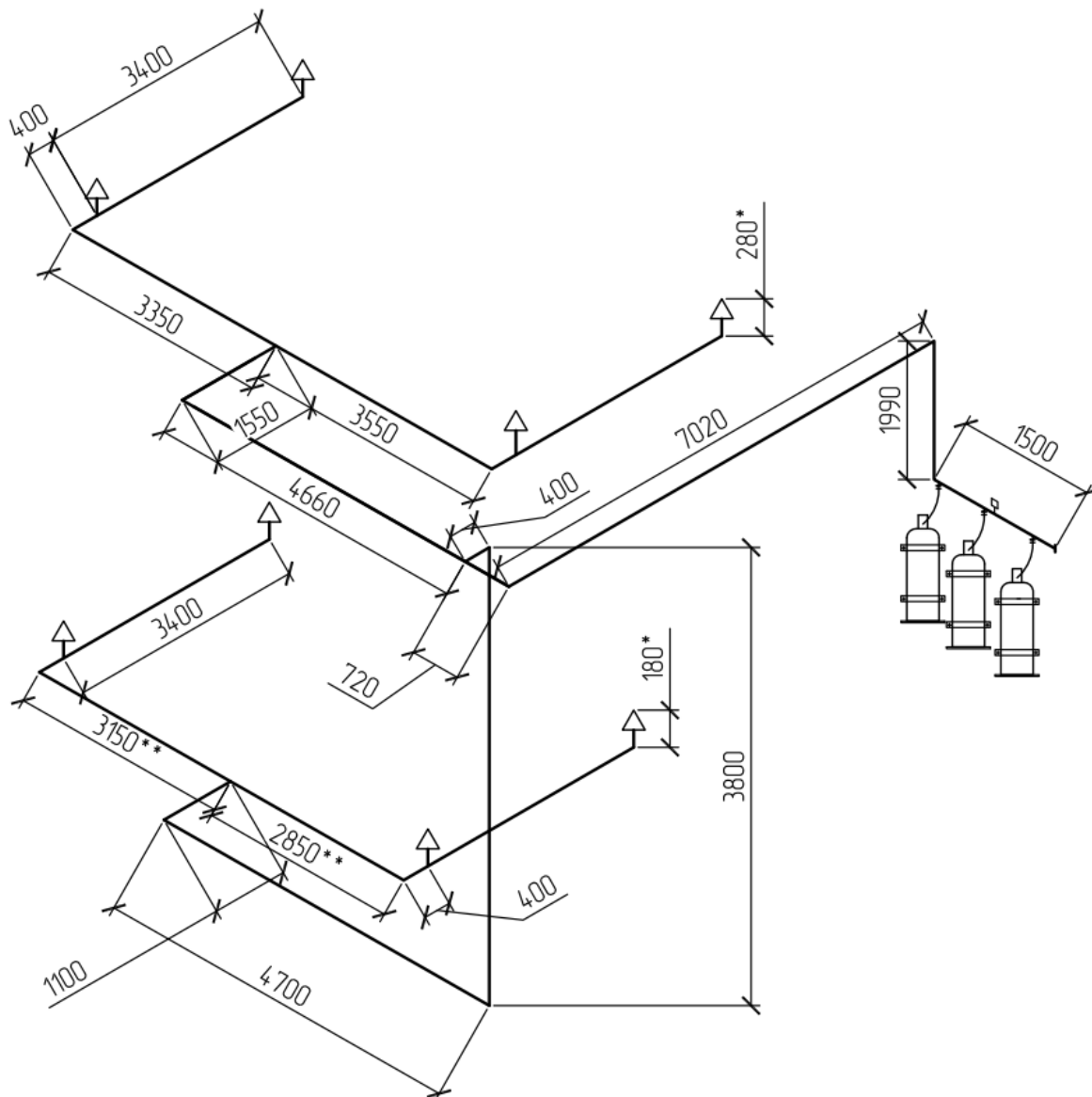
$F_1, F_2$  – суммарная площадь проходных сечений насадков, расположенных в первом и втором объемах;

$M_1, M_2$  – масса газа, необходимая для тушения, соответственно, в первом и втором объеме.

#### IV. Пример расчета.

Рассмотрим пример гидравлического расчета распределительной сети установки ГОТВ в соответствии с аксонометрической схемой, и следующими исходными данными:

- Основной объем  $V_{p1} = 318 \text{ м}^3$  ; фальшпол  $V_{p2} = 55,65 \text{ м}^3$
- Тип ГОТВ: Хладон 125 ХП



1) Пользуясь Приложением Е, (СП 5.13130.2009) вычисляем массу ГОТВ для каждого защищаемого объема:

$M_{p1} = 186,39 \text{ кг}$  – для основного объема

$M_{p2} = 32,57 \text{ кг}$  – для фальшпола

Для упрощения расчета, масса газа вычислена без параметра негерметичности помещения, вида пожарной нагрузки, остатка ГОТВ в модуле и трубопроводе, и прочих параметров, характеризующих помещение и модульную установку с трубопроводом.

2) Определим суммарную площадь проходных сечений всех насадков в каждом объеме отдельно:

$$F_{сн1} = \frac{186,39}{10000 \cdot 0,6 \cdot 10} = 0,0031065 \text{ (м}^2\text{)} \text{ – для основного объема}$$

$$F_{ch2} = \frac{32,57}{10000 \cdot 0,6 \cdot 10} = 0,0005428 \quad (\text{м}^2) - \text{для объема фальшпола}$$

Определим площадь поперечного сечения одного насадка для каждого объема:

$$F_{н1} = \frac{0,0031065}{4} = 0,000776625 \quad (\text{м}^2) - \text{для основного объема}$$

$$F_{н2} = \frac{0,0005428}{4} = 0,0001357 \quad (\text{м}^2) - \text{для объема фальшпола}$$

Пользуясь «Каталога технологического оборудования для установок автоматического газового пожаротушения» подберем соответствующие насадки для каждого объема, округляя площадь в большую сторону:

для основного объема принимаем  $F_{н1} = 800 \text{ мм}^2$

для объема фальшпола  $F_{н2} = 150 \text{ мм}^2$

3) Определим площадь и диаметр условного прохода распределительных трубопроводов для основного объема:

$$F_{p1} = 1,2 \cdot 800 \cdot 1 = 960 \quad D_{p1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 960}{3,14}} = 34,97041 \quad - \text{перед последним насадком}$$

$$F_{p2} = 1,2 \cdot 800 \cdot 2 = 1920 \quad D_{p2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1920}{3,14}} = 49,45563 \quad - \text{перед двумя последними}$$

$$F_{p3} = 1,2 \cdot 800 \cdot 4 = 3840 \quad D_{p3} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3840}{3,14}} = 69,94083 \quad - \text{перед 4-мя последними}$$

И для фальшпола:

$$F_{p4} = 1,2 \cdot 150 \cdot 1 = 180 \quad D_{p4} = \sqrt{\frac{4 \cdot 180}{3,14}} = 15,14263 \quad - \text{перед последним насадком}$$

$$F_{p5} = 1,2 \cdot 150 \cdot 2 = 360 \quad D_{p5} = \sqrt{\frac{4 \cdot 360}{3,14}} = 21,41491 \quad - \text{перед двумя последними}$$

$$F_{p6} = 1,2 \cdot 150 \cdot 4 = 720 \quad D_{p6} = \sqrt{\frac{4 \cdot 720}{3,14}} = 30,28526 \quad - \text{перед 4-мя последними}$$

4) Определим площадь и диаметр условного прохода магистрального трубопровода:

$$F_m = A_m \cdot \sum F_p$$

$$F_m = 1,1 \cdot (3840 + 720) = 5016 \quad D_m = \sqrt{\frac{4 \cdot 5016}{3,14}} = 79,93628$$

На основе полученных расчетных значений магистрального и распределительных трубопроводов, подберем стандартные трубопроводы.

Магистральный трубопровод:  $\phi 89 \times 6,0$ ; Ду=77

Распределительные трубопроводы в основном объеме:

φ 45x4,0; Ду=37 – перед последним насадком

φ 57x5,0; Ду=47 – перед двумя последними

φ 76x6,0; Ду=64 – перед 4-мя последними

Распределительные трубопроводы в фальшполе:

φ 22x3,0; Ду=16 – перед последним насадком

φ 28x3,0; Ду=22 – перед двумя последними

φ 34x3,0; Ду=28 – перед 4-мя последними

5) Определяется тип модулей в установке и их количество:

$$n_m = \frac{186,39 + 32,57}{100 \cdot 0,9} = 2,43 \quad - \text{округляем до целого числа. } n_m = 3$$

6) Определяем эквивалентную длину магистрального трубопровода.

Согласно таблицам из Приложения 5 в «Методике гидравлического расчета трубопроводов установок газового пожаротушения с применением модулей, изготавливаемых «ОАО Приборный завод «Тензор»; здесь и далее по ходу расчета принимаем следующие коэффициенты наиболее часто используемых местных сопротивлений в распределительной сети трубопроводов:

Ответвления (тройники)  $\zeta_{mp} = 1,3$

Резкий поворот трубопровода на 90 гр. (отвод, поворот)  $\zeta_{пов} = 1,1$

Постепенное сужение стенок трубопровода (переход)  $\zeta_{пер} = 0,36$

6.1) Эквивалентная длина сборки баллонов:

$$L_{\phi} = \frac{12}{3 \cdot 3} = 1,33333 \quad - \text{эквивалентная длина баллонов в одной батарее}$$

$$L_{\phi\alpha} = 1,33333 \cdot \left( \frac{0,077}{0,066} \right)^{5,25} = 2,99508$$

– приведенная к длине магистрального трубопровода

6.2) Эквивалентная длина коллектора:

$$L_k = 1,405 + 76,4 \cdot 3 \cdot 1,3 \cdot 0,066^{1,25} = 11,37253$$

$$L_{k\alpha} = 11,37253 \cdot \left( \frac{0,077}{0,066} \right)^{5,25} = 25,54628$$

– приведенная к длине магистрального трубопровода

6.3) Эквивалентная длина местных сопротивлений магистрального трубопровода:

$$L_{mc} = 76,4 \cdot 3 \cdot 1,1 \cdot 0,077^{1,25} = 10,22635$$

6.4) Складываем эквивалентные длины и получаем эквивалентную длину магистрального трубопровода:

$$L_{m\alpha} = 2,995 + 25,5463 + 10,2264 + (1,99 + 7,02 + 0,72) = 48,4977$$



7) Рассчитываем эквивалентные длины каждого участка распределительного трубопровода основного объема помещения.

7.1) Эквивалентная длина участка №1

$$L_{\text{мс,отвод}} = 76,4 \cdot 1,1 \cdot 0,037^{1,25} = 1,3637$$

$$L_{\text{мс,переход}} = 76,4 \cdot 0,36 \cdot 0,037^{1,25} = 0,4463$$

$$L_{p1э} = 1,3637 + 0,4463 + 3,4 = 5,21$$

7.2) Эквивалентная длина участка №2

$$L_{\text{мс,отвод}} = 76,4 \cdot 1,1 \cdot 0,047^{1,25} = 1,8391$$

$$L_{\text{мс,переход}} = 76,4 \cdot 0,36 \cdot 0,047^{1,25} = 0,6019$$

$$L_{\text{мс,тройник}} = 76,4 \cdot 1,3 \cdot 0,047^{1,25} = 2,1735$$

$$L_{p2э} = 1,8391 + 0,6019 + 2,1735 + (0,4 + 3,35) = 8,3645$$

7.3) Эквивалентная длина участка №3

$$L_{\text{мс,отвод}} = 76,4 \cdot 1,1 \cdot 0,064^{1,25} = 2,7053$$

$$L_{\text{мс,переход}} = 76,4 \cdot 0,36 \cdot 0,064^{1,25} = 0,8854$$

$$L_{\text{мс,тройник}} = 76,4 \cdot 1,3 \cdot 0,064^{1,25} = 3,1971$$

$$L_{\text{мс,тройник}} = 76,4 \cdot 1,3 \cdot 0,077^{1,25} = 4,0286$$

$$L_{p3э} = 2,7053 + 0,8854 + 3,1971 + 4,0286 + (1,55 + 4,66) = 17,0264$$

8) Рассчитываем эквивалентные длины каждого участка распределительного трубопровода фальшпола.

8.1) Эквивалентная длина участка №4

$$L_{\text{мс,отвод}} = 76,4 \cdot 1,1 \cdot 0,016^{1,25} = 0,4782$$

$$L_{\text{мс,переход}} = 76,4 \cdot 0,36 \cdot 0,016^{1,25} = 0,1565$$

$$L_{p4э} = 0,4782 + 0,1565 + 3,4 = 4,0347$$

8.2) Эквивалентная длина участка №5

$$L_{\text{мс,отвод}} = 76,4 \cdot 1,1 \cdot 0,022^{1,25} = 0,7121$$

$$L_{\text{мс,переход}} = 76,4 \cdot 0,36 \cdot 0,022^{1,25} = 0,2330$$

$$L_{\text{мс,тройник}} = 76,4 \cdot 1,3 \cdot 0,022^{1,25} = 0,8415$$

$$L_{p5э} = 0,7121 + 0,233 + 0,8415 + (0,4 + 3,15) = 5,3366$$

8.3) Эквивалентная длина участка №6

$$L_{\text{мс,отвод}} = 76,4 \cdot 3 \cdot 1,1 \cdot 0,028^{1,25} = 2,8877$$

$$L_{\text{мс,переход}} = 76,4 \cdot 0,36 \cdot 0,028^{1,25} = 0,3150$$

$$L_{\text{мс,тройник}} = 76,4 \cdot 1,3 \cdot 0,028^{1,25} = 1,1376$$

$$L_{p6э} = 2,8877 + 0,315 + 1,1376 + (1,1 + 4,7 + 3,8 + 0,4) = 14,3403$$

9) Рассчитываем гидравлические характеристики для основного объема:

$$\Pi = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{N^2 \cdot L_{mэ}}{D_m^{5,25}} + 1,1 \cdot \sum_{i=1}^{N_i} \frac{n_j^2 \cdot L_{jэ}}{D_j^{5,25}} \right)$$

$$\begin{aligned} \Pi_{1,1} &= 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{4^2 \cdot 48,4977}{0,077^{5,25}} + 1,1 \cdot \left( \frac{4^2 \cdot 17,0264}{0,064^{5,25}} + \frac{2^2 \cdot 8,3645}{0,047^{5,25}} + \frac{1^2 \cdot 5,21}{0,037^{5,25}} \right) \right) = \\ &= 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{775,9632}{1,42586 \cdot 10^{-6}} + 1,1 \cdot \left( \frac{272,4224}{5,40063 \cdot 10^{-7}} + \frac{33,458}{1,06786 \cdot 10^{-7}} + \frac{5,21}{3,0413 \cdot 10^{-8}} \right) \right) = \\ &= 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot (554207870,271 + 1,1 \cdot (504426566,372 + 313318632,713 + 171308405,168)) = \\ &= 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot (554207870,271 + 1087958964,678) = 17,95 \end{aligned}$$

$$\Pi_{1,2} = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{4^2 \cdot 48,4977}{0,077^{5,25}} + 1,1 \cdot \left( \frac{4^2 \cdot 17,0264}{0,064^{5,25}} + \frac{2^2 \cdot 8,3645}{0,047^{5,25}} \right) \right) = 15,88$$

и фальшпола:

$$\Pi_{2,1} = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{4^2 \cdot 48,4977}{0,077^{5,25}} + 1,1 \cdot \left( \frac{4^2 \cdot 14,3403}{0,028^{5,25}} + \frac{2^2 \cdot 5,3366}{0,022^{5,25}} + \frac{1^2 \cdot 4,0347}{0,016^{5,25}} \right) \right) = 661,38$$

$$\Pi_{2,2} = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{4^2 \cdot 48,4977}{0,077^{5,25}} + 1,1 \cdot \left( \frac{4^2 \cdot 14,3403}{0,028^{5,25}} + \frac{2^2 \cdot 5,3366}{0,022^{5,25}} \right) \right) = 530,47$$

10) Рассчитываем приведенный расход для основного объема:

$$K_{1,1} = \frac{1}{0,6 \cdot 0,0008 \cdot \sqrt{17,95}} = 491,68$$

$$K_{1,2} = \frac{1}{0,6 \cdot 0,0008 \cdot \sqrt{15,88}} = 522,78$$

$$\begin{aligned} J_{1,1} &= -462 + 40,9 \cdot 491,68 + (-0,021) \cdot 491,68^2 + (5,07 \cdot 10^{-6}) \cdot 491,68^3 + \\ &+ (-4,5 \cdot 10^{-10}) \cdot 491,68^4 = 15147,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{1,2} &= -462 + 40,9 \cdot 522,78 + (-0,021) \cdot 522,78^2 + (5,07 \cdot 10^{-6}) \cdot 522,78^3 + \\ &+ (-4,5 \cdot 10^{-10}) \cdot 522,78^4 = 15871,22 \end{aligned}$$

и фальшпола:

$$K_{2,1} = \frac{1}{0,6 \cdot 0,00015 \cdot \sqrt{661,38}} = 432,05$$

$$K_{2,2} = \frac{1}{0,6 \cdot 0,00015 \cdot \sqrt{530,47}} = 482,42$$

$$J_{2,1} = -462 + 40,9 \cdot 432,05 + (-0,021) \cdot 432,05^2 + (5,07 \cdot 10^{-6}) \cdot 432,05^3 + (-4,5 \cdot 10^{-10}) \cdot 432,05^4 = 13681,97$$

$$J_{2,2} = -462 + 40,9 \cdot 482,42 + (-0,021) \cdot 482,42^2 + (5,07 \cdot 10^{-6}) \cdot 482,42^3 + (-4,5 \cdot 10^{-10}) \cdot 482,42^4 = 14926,53$$

11) Определяем массовый расход для основного объема:

$$G_{\Sigma} = J \cdot \mu \cdot F_{сн}$$

$$G_{1,1} = 15147,25 \cdot 0,6 \cdot 0,0008 = 7,27$$

$$G_{1,2} = 15871,22 \cdot 0,6 \cdot 0,0008 = 7,62$$

$$G_{\Sigma 1} = (7,27 + 7,62) \cdot 2 = 29,78$$

и фальшпола:

$$G_{2,1} = 13681,97 \cdot 0,6 \cdot 0,00015 = 1,23$$

$$G_{2,2} = 14926,53 \cdot 0,6 \cdot 0,00015 = 1,34$$

$$G_{\Sigma 2} = (1,23 + 1,34) \cdot 2 = 5,15$$

12) Время подачи ГОТВ для основного объема:

$$t_{нод1} = \frac{186,39}{29,78} = 6,26$$

и фальшпола:

$$t_{нод2} = \frac{32,57}{5,15} = 6,32$$

13) Определяем давление перед насадками для основного объема:

$$Y_{1,1} = \left( \frac{15147,25}{491,68} \right)^2 = 949,09 \quad Y_{1,2} = \left( \frac{15871,22}{522,78} \right)^2 = 921,68$$

$$P_{1,1} = 3,1 + 2,54 \cdot 10^{-4} \cdot 949,09 + (-2,5 \cdot 10^{-6}) \cdot 949,09^2 = 1,09$$

$$P_{1,2} = 3,1 + 2,54 \cdot 10^{-4} \cdot 921,68 + (-2,5 \cdot 10^{-6}) \cdot 921,68^2 = 1,21$$

и фальшпола:

$$Y_{2,1} = \left( \frac{13681,97}{432,05} \right)^2 = 1002,85 \quad Y_{2,2} = \left( \frac{14926,53}{482,42} \right)^2 = 957,34$$

$$P_{2,1} = 3,1 + 2,54 \cdot 10^{-4} \cdot 1002,85 + (-2,5 \cdot 10^{-6}) \cdot 1002,85^2 = 0,84$$

$$P_{2,2} = 3,1 + 2,54 \cdot 10^{-4} \cdot 957,34 + (-2,5 \cdot 10^{-6}) \cdot 957,34^2 = 1,05$$

14) Одним из условий корректного расчета является соблюдение ограничения: внутренний объем трубопроводов не должен превышать 80% объема жидкой фазы ГОТВ, находящегося в модулях установки. Произведем проверку данного условия.

14.1) Объем коллектора:

$$D_k = 0,066(\text{м}); \quad F_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,066^2}{4} = 0,003419(\text{м}^2)$$

$$V_k = F_k \cdot l_l = 3,419 \cdot 10^{-3} \cdot 1,405 = 4,804 \cdot 10^{-3}(\text{м}^3)$$

14.2) Объем магистрального трубопровода:

$$D_m = 0,077(\text{м}); \quad F_m = \frac{3,14 \cdot 0,077^2}{4} = 0,004654(\text{м}^2)$$

$$V_m = F_m \cdot l_m = 4,654 \cdot 10^{-3} \cdot 9,73 = 4,528 \cdot 10^{-2}(\text{м}^3)$$

14.3) Объем распределительного трубопровода основного объема:

$$D_{p1} = 0,064(\text{м}); \quad F_{p1} = 0,003215(\text{м}^2); \quad V_{p1} = 3,215 \cdot 10^{-3} \cdot 6,21 = 1,997 \cdot 10^{-2}(\text{м}^3)$$

$$D_{p2} = 0,047(\text{м}); \quad F_{p2} = 0,001734(\text{м}^2); \quad V_{p2} = 1,734 \cdot 10^{-3} \cdot 3,75 \cdot 2 = 1,3 \cdot 10^{-2}(\text{м}^3)$$

$$D_{p3} = 0,037(\text{м}); \quad F_{p3} = 0,001075(\text{м}^2); \quad V_{p3} = 1,075 \cdot 10^{-3} \cdot 3,4 \cdot 2 = 7,308 \cdot 10^{-3}(\text{м}^3)$$

$$V_{\Sigma p1-3} = 1,997 \cdot 10^{-2} + 1,3 \cdot 10^{-2} + 7,308 \cdot 10^{-3} = 4,028 \cdot 10^{-2}(\text{м}^3)$$

14.4) Объем распределительного трубопровода фальшпола:

$$D_{p4} = 0,028(\text{м}); \quad F_{p4} = 0,0006154(\text{м}^2); \quad V_{p4} = 6,154 \cdot 10^{-4} \cdot 10 = 6,154 \cdot 10^{-3}(\text{м}^3)$$

$$D_{p5} = 0,022(\text{м}); \quad F_{p5} = 0,0003799(\text{м}^2); \quad V_{p5} = 3,799 \cdot 10^{-4} \cdot (3,55 + 3,25) = 2,584 \cdot 10^{-3}(\text{м}^3)$$

$$D_{p6} = 0,016(\text{м}); \quad F_{p6} = 0,0002010(\text{м}^2); \quad V_{p6} = 2,01 \cdot 10^{-4} \cdot 3,4 \cdot 2 = 1,367 \cdot 10^{-3}(\text{м}^3)$$

$$V_{\Sigma p4-6} = 6,154 \cdot 10^{-3} + 2,584 \cdot 10^{-3} + 1,367 \cdot 10^{-3} = 1,011 \cdot 10^{-2}(\text{м}^3)$$

14.5) Суммарный объем распределительной сети:

$$V_c = 4,804 \cdot 10^{-3} + 4,528 \cdot 10^{-2} + 4,028 \cdot 10^{-2} + 1,011 \cdot 10^{-2} = 0,100474(\text{м}^3)$$

14.6) Объем жидкой фазы в модулях:

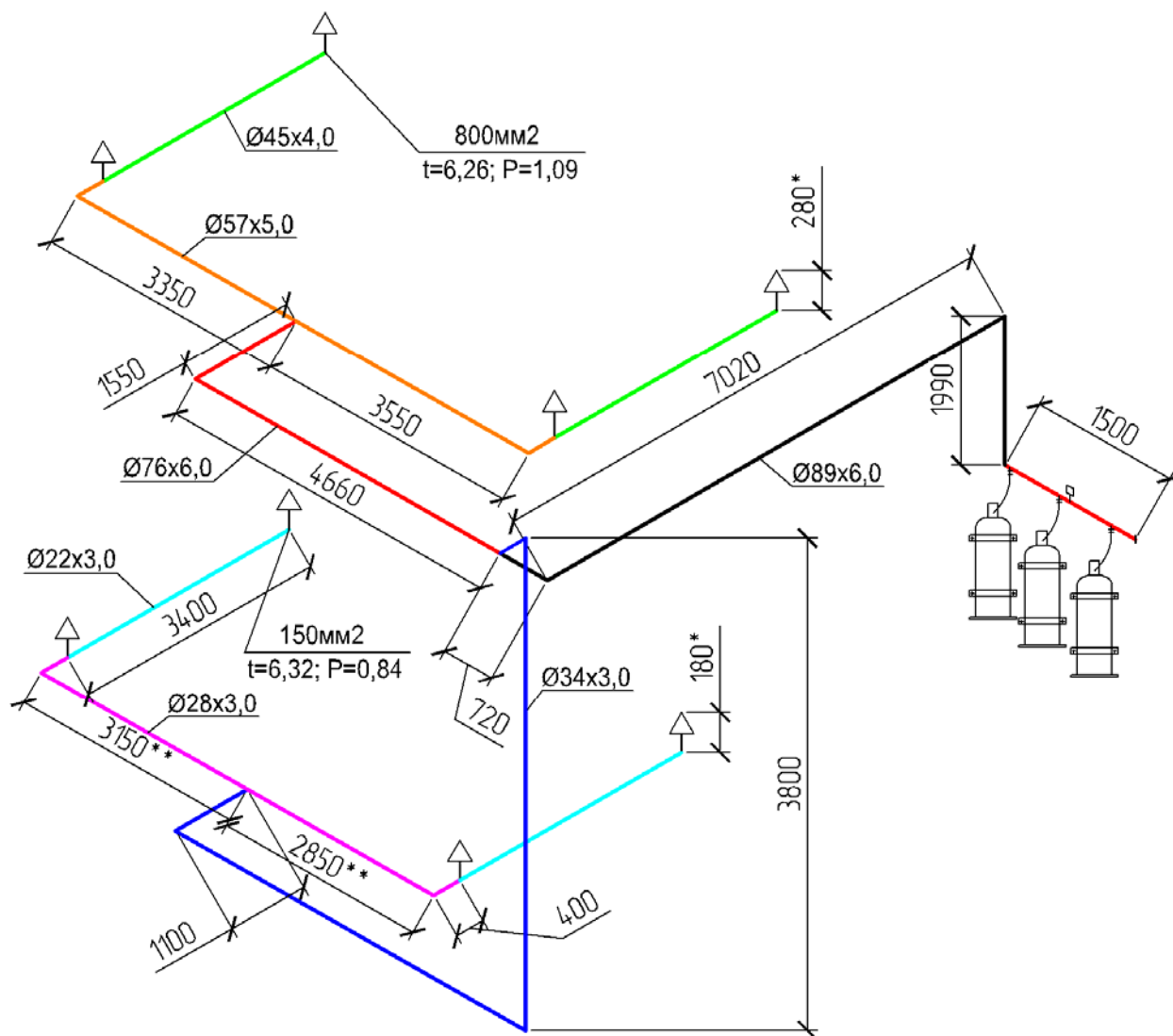
$$V_{жф} = \frac{M_{гоТВ}}{\rho_{х125}} = \frac{218,96}{1127} = 0,194286(\text{м}^3) \quad \frac{V_c}{V_{жф}} = \frac{0,100474}{0,194286} = 0,517144$$

Таким образом, объем распределительной сети составляет 51,7% от объема жидкой фазы, что соответствует норме.

## V. Выводы по результатам расчета:

1. Время подачи ГОТВ в основном объеме и фальшполе не превышает нормативного. ( $t_{под1} = 6,26$ ,  $t_{под2} = 6,32 < 10\text{с}$ )
2. Разница времени подачи газа во все защищаемые объемы не превышает 10%.  
 $\Delta t = t_{под1} - t_{под2} = 6,26 - 6,32 = 0,06$ ; что составляет менее 1,1%.
3. Давление на насадках не всегда больше 1МПа, следовательно, требуется корректировка диаметров трубопроводов/подбор насадков с другой суммарной площадью сечений.
4. Внутренний объем распределительной сети трубопроводов составляет 51,7% от объема жидкой фазы ГОТВ, и не превышает нормативные 80%.

## VI. Аксонометрическая схема с указанием диаметров трубопроводов:



## VII. Корректировка расчета.

Корректировка расчета может требоваться не только из-за не соответствия нормативам времени выхода газа и давления перед насадками. В данном выше расчете было использовано 7 типоразмеров труб, что является явным перебором. Попробуем подобрать по возможности одинаковые типоразмеры труб в тех местах, где это возможно. В дальнейшем это значительно сократит и облегчит составление спецификации, т.к. каждый размер трубы требует к себе набор соответствующих поворотов/ тройников/ переходов/ комплектов креплений.

1) Попробуем подставить следующие значения магистрального и распределительных трубопроводов:

Магистральный трубопровод:  $\varnothing 76 \times 6,0$ ; Ду=64

Распределительные трубопроводы в основном объеме:

$\varnothing 57 \times 5,0$ ; Ду=47 – перед последним насадком

$\varnothing 57 \times 5,0$ ; Ду=47 – перед двумя последними

$\varnothing 76 \times 6,0$ ; Ду=64 – перед 4-мя последними

Распределительные трубопроводы в фальшполе:

φ 34x3,0; Ду=28 – перед последним насадком

φ 34x3,0; Ду=28 – перед двумя последними

φ 34x3,0; Ду=28 – перед 4-мя последними

2) Произведя заново гидравлический расчет со скорректированными диаметрами, получаем на выходе следующие показатели:

2.1) Время подачи ГОТВ для основного объема и фальшполя:

$$t_{под1} = 6,63 \quad t_{под2} = 5,7$$

2.2) Давление перед насадками для основного объема и фальшполя:

$$P_{1.1} = 1,00 \quad P_{1.2} = 1,04$$

$$P_{2.1} = 1,21 \quad P_{2.2} = 1,23$$

3) Для того, чтобы увеличить давление на крайнем насадке основного объема, т.к.  $P_{1.1}=1,00$  это уже граница рекомендуемого значения, а так же чтобы уравнивать время выхода газа в обоих объемах, откорректируем суммарные площади насадков:

для основного объема принимаем  $F_{н1} = 700 \text{ мм}^2$

для объема фальшполя  $F_{н2} = 100 \text{ мм}^2$

Произведя расчет со скорректированными диаметрами трубопроводов, и новыми вариантами насадков, получаем следующие данные:

3.1) Время подачи ГОТВ для основного объема и фальшполя:

$$t_{под1} = 6,84 \quad t_{под2} = 6,48$$

3.2) Давление перед насадками для основного объема и фальшполя:

$$P_{1.1} = 1,27 \quad P_{1.2} = 1,30$$

$$P_{2.1} = 2,00 \quad P_{2.2} = 2,02$$

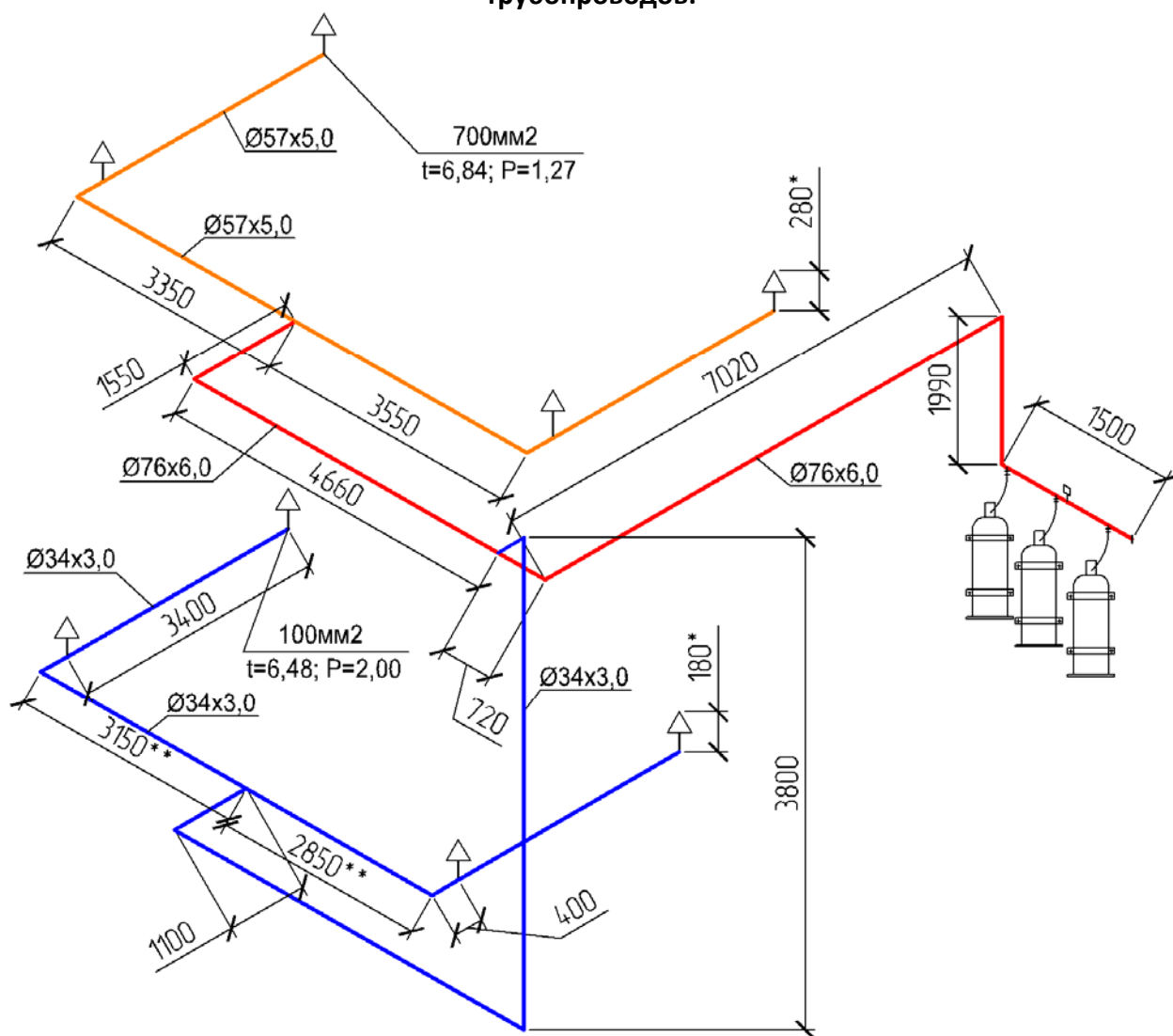
3.3) Соотношение суммарного объема распределительной сети к объему жидкой фазы ГОТВ в модулях:

$$\frac{V_c}{V_{жф}} = \frac{0,095563}{0,194286} = 0,491867$$

### **VIII. Выводы по результатам скорректированного расчета:**

1. Время подачи ГОТВ в основном объеме и фальшполе не превышает нормативного. ( $t_{под1} = 6,84$ ,  $t_{под2} = 6,48 < 10\text{с}$ )
2. Разница времени подачи газа во все защищаемые объемы не превышает 10%.  
 $\Delta t = t_{под1} - t_{под2} = 6,84 - 6,48 = 0,36$ ; что составляет менее 5,3%.
3. Давление на всех насадках больше 1МПа.
4. Внутренний объем распределительной сети трубопроводов составляет 49,2% от объема жидкой фазы ГОТВ, и не превышает нормативные 80%.
5. Количество типоразмеров труб уменьшено с 7 до 3-х.
6. Из всего вышеперечисленного следует, что нет необходимости заново производить коррекцию расчетов распределительной сети трубопроводов.

**IX. Скорректированная аксонометрическая схема с указанием диаметров трубопроводов:**



**X. Подбор труб, отводов, тройников, переходов и насадок-распылителей для спецификации на основании произведенного расчета:**

Магистральный трубопровод:

Труба стальная бесшовная холоднодеформированная	φ 76x6,0	ГОСТ 8734-75
Отвод	90°-76x6,0	ГОСТ 17375-2001
Тройник	76x6,0	ГОСТ 17376-2001

Основной объем:

Труба стальная бесшовная холоднодеформированная	φ 76x6,0	ГОСТ 8734-75
Труба стальная бесшовная холоднодеформированная	φ 57x5,0	ГОСТ 8734-75
Отвод	90°-76x6,0	ГОСТ 17375-2001
Отвод	90°-57x5,0	ГОСТ 17375-2001
Тройник	76x6,0	ГОСТ 17376-2001
Тройник	57x5,0	ГОСТ 17376-2001
Переход приварной	ПП-76x6,0/57x5,0-70	ГОСТ 17378-2001

Фальшпол:

Труба стальная бесшовная холоднодеформированная	φ 34x3,0	ГОСТ 8734-75
Отвод	90°-33,7x3,2	ГОСТ 17375-2001
Тройник	33,7x3,2	ГОСТ 17376-2001
Переход приварной	ПП-76x6,0/34x3,0-89	еФ8.652.076-53

Выбранные насадки и патрубки для основного объема:

Насадок-распылитель газовый	С-Р-В-700-G 2"	еФ8.652.091-11
Патрубок переходной под насадок	ППН G 2"-50/57-60	еФ9.300.015-05

и фальшпола:

Насадок-распылитель газовый	С-Р-В-100-G 1"	еФ8.652.085-01
Патрубок под насадок	ПН G 1"-27/34-70	еФ9.300.016-03

## XI. Выдержка для пояснительной записки.

При составлении пояснительной записки нет необходимости переносить в нее абсолютно все расчеты. Достаточно составить сводную таблицу, в которую заносятся конечные скорректированные значения.

Пример таблицы, основываясь на нашем примере:

Исходные данные:

1	Используемый газовый огнетушащий состав	Хладон-125ХП	
2	Расчетный объем защищаемого помещения (общий), м <sup>3</sup>		373,56
	основной объем	V <sub>р1</sub>	318,00
	фальшпол	V <sub>р2</sub>	55,56
3	Коэффициент, учитывающий утечки газового огнетушащего вещества из сосудов	K <sub>1</sub>	1,05
4	Плотность паров газового огнетушащего вещества при температуре T <sub>0</sub> =293 К (20 <sup>0</sup> С) и атмосферном давлении 101,3 кПа	ρ <sub>0</sub>	5,208
5	Минимальная температура воздуха в защищаемом помещении, К	T <sub>м</sub>	283
6	Нормативная объемная огнетушащая концентрация ГОТВ	C <sub>н</sub>	9,8
7	Поправочный коэффициент, учитывающий высоту расположения объекта относительно уровня моря	K <sub>з</sub>	1
8	Масса остатка ГОТВ в модуле, кг	M <sub>б</sub>	0,6
9	Нормативное время подачи ГОТВ в защищаемое помещение, с	τ <sub>под</sub>	10
10	Высота защищаемого помещения, м		4,70
	основной объем	H <sub>1</sub>	4,00
	фальшпол	H <sub>2</sub>	0,70
11	Суммарная площадь проемов, м <sup>2</sup>	ΣF <sub>н</sub>	0,0300
	основной объем	ΣF <sub>н1</sub>	0,0250
	фальшпол	ΣF <sub>н2</sub>	0,0050

Результаты расчета:

1	Плотность газового огнетушащего вещества с учетом высоты защищаемого объекта относительно уровня моря для минимальной температуры в помещении, кг/м <sup>3</sup>	ρ <sub>1</sub>	5,39
---	--	----------------	------



2	Параметр негерметичности помещения, м <sup>-1</sup>	$\delta$	
	основной объем	$\delta_1$	0,00008
	фальшпол	$\delta_2$	0,00009
3	Коэффициент, учитывающий потери ГОТВ через проемы помещения	$K_2$	
	основной объем	$K_2(1)$	0,00051
	фальшпол	$K_2(2)$	0,00058
4	Масса ГОТВ для создания в защищаемом помещении огнетушащей концентрации при отсутствии искусственной вентиляции, кг	$M_p$	218,96
	основной объем	$M_{p1}$	186,39
	фальшпол	$M_{p2}$	32,57
5	Расчетная масса ГОТВ в модульной установке, кг	$M_r$	241,40
6	Масса ГОТВ в модульной установке (принятая), кг	$M_{r6}$	244,00
7	Объем модуля, л	$V_m$	100
8	Количество модулей в модульной установке	$n_m$	3
9	Суммарная площадь проходных сечений насадков, м <sup>2</sup>	$F_{сн}$	
	основной объем	$F_{сн1}$	0,00280
	фальшпол	$F_{сн2}$	0,00040
10	Общее количество насадков	$N$	8
	основной объем	$N_1$	4
	фальшпол	$N_2$	4
11	Диаметр (Dy) магистрального трубопровода, мм	$D_m$	64,000
12	Диаметр (Dy) распределительного трубопровода, мм	$D_p$	
	основной объем	$D_{p1.1}$	64,000
	основной объем	$D_{p1.2}$	47,000
	фальшпол	$D_{p2.1}$	28,000
13	Массовый расход всех насадков в объеме, кг/с	$G_{\Sigma}$	
	основной объем	$G_{\Sigma 1}$	27,41
	фальшпол	$G_{\Sigma 2}$	5,04
14	Давление перед насадками, МПа	$P$	
	основной объем	$P_1$	1,27
	фальшпол	$P_2$	2,00
15	Время подачи ГОТВ для создания огнетушащей концентрации, с		
	основной объем	$\tau_{под1}$	6,84
	фальшпол	$\tau_{под2}$	6,48
16	Время опорожнения системы, с	$\tau_{опор}$	7,54
17	Площадь проема для сброса избыточного давления, м <sup>2</sup>		
	основной объем	$F_{c1}$	-0,00193
	фальшпол	$F_{c2}$	-0,00074

## Приложение №1

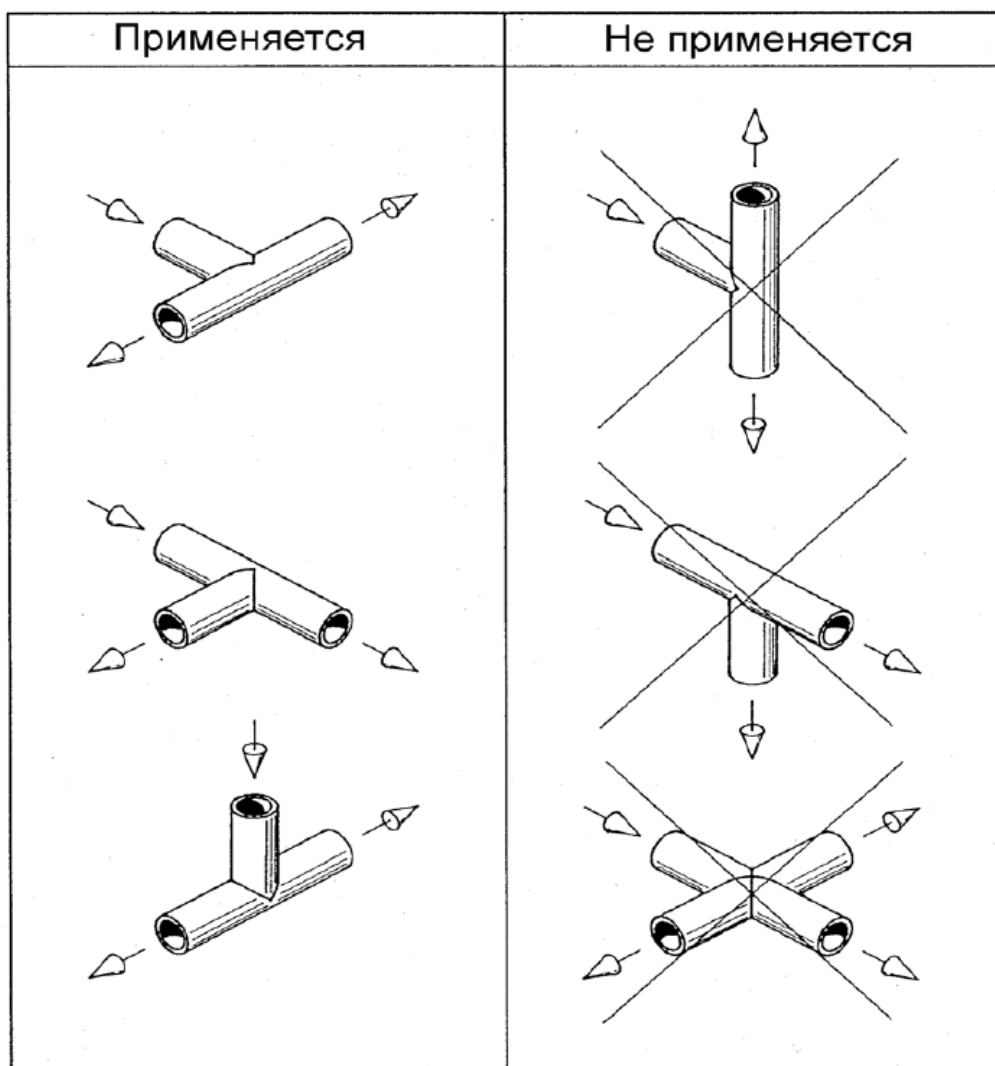
### 1.1) Особенности течения ГОТВ.

Хладоны (125 ХП, 227еа) хранятся в модулях в сжиженном виде. При наддуве азотом в модуль до требуемого давления, азот частично растворяется в хладоне. После открытия запорно-пускового устройства (ЗПУ), сжиженный газ поступает из модуля в трубопровод под давлением газа-вытеснителя. Хладон с частично растворенным азотом по трубной разводке поступает к насадкам, и через них выходит в защищаемый объем. В результате расширения объема, занимаемого азотом в процессе вытеснения хладона, трения в трубопроводе и наличия местных сопротивлений, давление падает, жидкость закипает (т.е. происходит испарение ГОТВ и выделение растворенного газа вытеснителя - азота), в результате чего образуется газо-жидкостная смесь.

При движении по трубопроводу газо-жидкостная смесь расслаивается. На горизонтальных участках верхняя часть сечения трубопровода обогащается газом, а нижняя, соответственно, жидкой фазой. Могут образовываться газовые пробки.

1.2) Общие правила применения тройников и крестовин в трубной разводке для сжиженных газов:

- **Запрещено применение крестовин для подачи сжиженных газов** (из руководств по проектированию зарубежных фирм).
- **Ограничено** применение тройников в зависимости от ориентации отводов в пространстве. Международный стандарт ISO 14520 требует, чтобы ориентация каждого тройника была указана в проекте.



Если подать газожидкостную смесь в радиальный отвод тройника в горизонтальной плоскости, а отводы ориентированы вверх и вниз, то вверх пойдет преимущественно парогазовый поток, а вниз – жидкостный. Такая ориентация тройника запрещается. При правильной ориентации распределяемые потоки в тройнике должны находиться в горизонтальной плоскости, т.к. в этом случае наблюдается более равномерное распределение двухфазной смеси.

1.3) Принципиально важным является соблюдение минимального расстояния между тройниками. Оно должно составлять не менее 10 внутренних диаметров трубопровода. Если расстояние между тройниками менее  $10D_u$ , то они условно представляют собой крестовину, применение которой категорически запрещено.

## 2) Общие характеристики насадков.

Таблица характеристик радиуса распыла насадков (угловые)

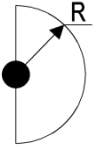
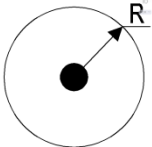
№	Обозначение	Радиус распыла ( $R_m$ ) для хладонов, $N_2$ , Ar при давлении не менее 3 атм.	Диаграмма распыла
1	C-Y-(F)- $\frac{3}{8}$ "	2	
2	C-Y-(F)- $\frac{1}{2}$ "	3	
3	C-Y-(F)- $\frac{3}{4}$ "	4	
4	C-Y-(F)- 1"	4,5	
5	C-Y-(F)- $1\frac{1}{4}$ "	4,5	
6	C-Y-(F)- $1\frac{1}{2}$ "	4,5	
7	C-Y-(F)- 2"	4,5	

Таблица характеристик радиуса распыла насадков (радиальные)

№	Обозначение	Радиус распыла ( $R_m$ ) для хладонов, $N_2$ , Ar при давлении не менее 3 атм.	Диаграмма распыла
1	C-P-(F)- $\frac{3}{8}$ "	2	
2	C-P-(F)- $\frac{1}{2}$ "	3	
3	C-P-(F)- $\frac{3}{4}$ "	3,5	
4	C-P-(F)- 1"	4	
5	C-P-(F)- $1\frac{1}{4}$ "	4	
6	C-P-(F)- $1\frac{1}{2}$ "	4	
7	C-P-(F)- 2"	4	