

Хоанг Зань Бинь
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: info@academygps.ru)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

В статье дано описание экспериментальной установки для исследования гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов и поведена оценка точности измерений.

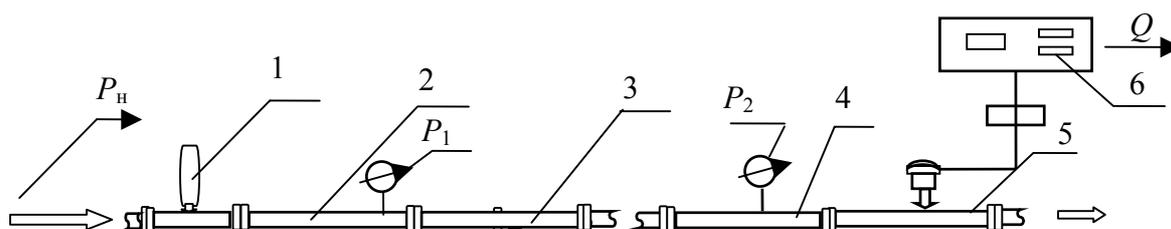
Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, напор, пожарный рукав, расход воды, пожарный ствол.

Hoang Zan Bin EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR RESEARCH OF HYDRAULIC RESISTANCE OF PRESSURE HEAD FIRE HOSES

In article the description of experimental installation for research of hydraulic resistance of pressure head fire hoses is given and the estimation of accuracy measurement is executed.

Key words: hydraulic resistance; pressure, fire hose, water expense, firemen a trunk.

Для проведения опытов по определению гидравлического сопротивления рукавных линий была разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 1).



От насоса

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 – пневмогидроаккумулятор; | 4 – вставка с манометром на выходе; |
| 2 – вставка с манометром на входе; | 5 – турбинный преобразователь расхода РТФ; |
| 3 – рукав пожарный (5 шт. × 20 м). | 6 – универсальный электронный преобразователь МВ1К-1000Т. |

Установка была собрана на ровной, горизонтальной площадке длиной 200 м. Автомобиль устанавливался на пожарный гидрант.

Для гашения колебаний и равномерной подачи воды от насоса пожарного автомобиля в рукавную линию в экспериментальной установке использовался пневмогидроаккумулятор типа ПГА-Б-10/16.

Пневмогидроаккумулятор (далее ПГА) предназначен для накопления энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением, за счет сжатия газа. Разделителем рабочих сред является эластичный разделитель.

Основные технические данные, устройство, габаритные и присоединительные размеры ПГА приведены на рис. 2.

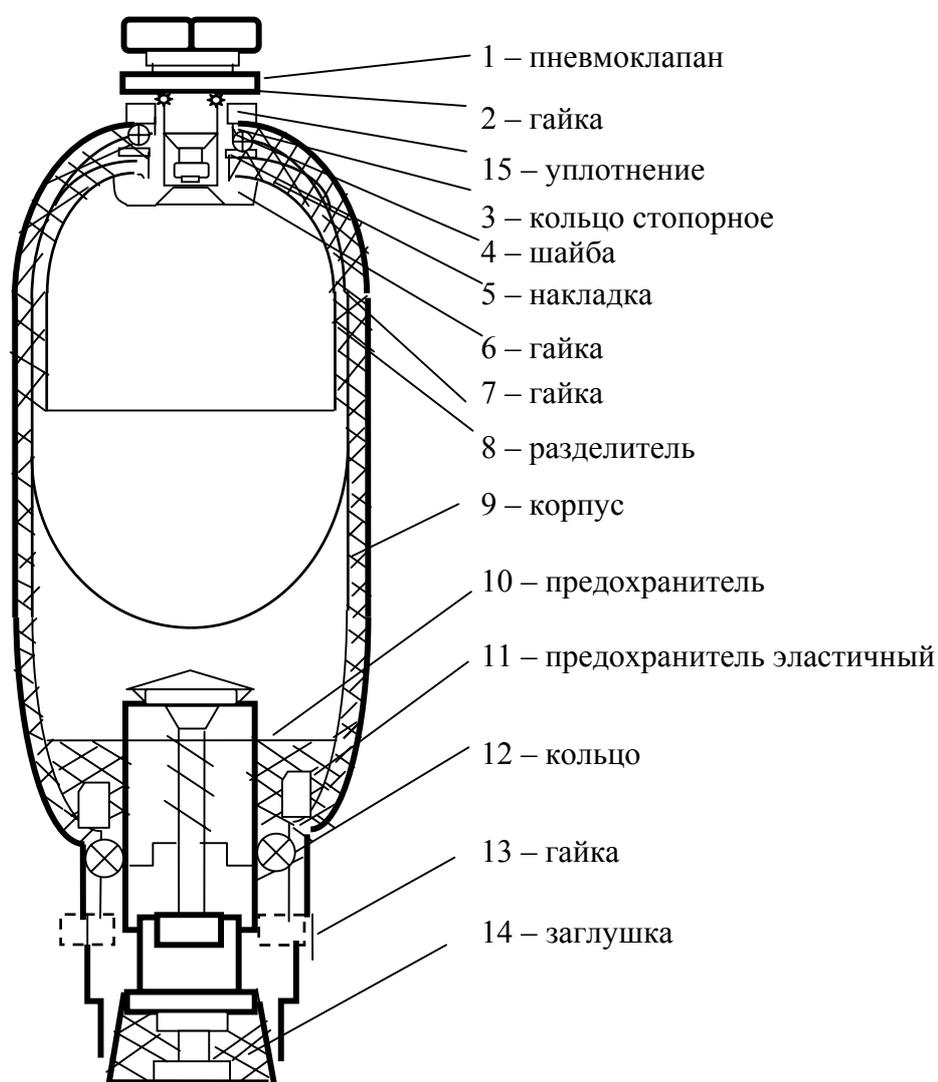


Рис. 2. Схема ПГА

ПГА был смонтирован в вертикальном положении пневмоклапаном вверх с помощью специально изготовленной стойки. Так как ПГА использовался в качестве гасителя колебаний давления при неравномерной работе автонасоса, он был установлен в непосредственной близости от автомобиля.

Для измерения расхода и объёма воды, протекающей по рукавной линии, был использован расходомер жидкости турбинный типа РТФ с УЭП (универсальный электронный преобразователь) и МВ1К-1000 Т.

Конструкция расходомера позволяет применять его в системах управления и регулирования, а также в составе измерительных систем. Диаметр условного прохода турбинного преобразователя 80 мм ($d_p = 78$ мм), соединение с рукавной линией фланцевое. Диапазон измерения турбинного расходомера РТФ 080 от 5,5 до 155 м³/ч (от 1,5 до 43 л/с).

Электрическое питание расходомера осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Индукционный датчик при работе на нагрузку 4800 Ом выдаёт на расстояние до 200 м сигналы амплитудой не менее 0,04 В.

Электронный преобразователь воспринимает входные импульсы амплитудой от 0,04 до 28 В и частотой от 30 до 2000 Гц.

Электронный преобразователь имеет 4 выходных канала:

- непосредственный визуальный отсчет объёма по двум электромеханическим счётчикам (один со сбросом на нуль);
- непосредственный визуальный отсчет объёма по двум электромеханическим счётчикам (один со сбросом на нуль), скорректированный по температуре измеряемой среды;
- непосредственный визуальный отсчет объёмного расхода по стрелочному указателю;
- токовый сигнал, пропорциональный объёмному расходу воды.

Принцип работы турбинного преобразователя основан на преобразовании объёма протекающей через него жидкости в пропорциональное количество оборотов турбинки.

При вращении турбинки, вследствие изменения магнитного потока, вызванного перемещением в постоянном магнитном поле индуктивного датчика (ИД) лопаток турбинки, изготовленной из магнитной нержавеющей стали, в обмотке индуктивного датчика индуцируется электрический импульс (ЭДС переменного тока), близкий по форме к синусоидальному.

Сигнал с ИД через предусилитель подается в электронный преобразователь, который преобразовывает этот сигнал в показания расхода жидкости на стрелочном приборе и количества жидкости, отсчитываемого электромеханическими счётчиками.

Турбинный преобразователь расхода устанавливается горизонтально так, чтобы направление стрелки на его корпусе соответствовало направлению потока измеряемой жидкости.

Для достижения нормированной точности измерения расходомера и предотвращения закручивания потока, перед турбинным преобразователем установлен прямой участок со струевыпрямителем длиной $10 d$, а после турбинного преобразователя – прямой участок длиной $5 d$.

Для измерения давления на входном и выходном участках экспериментальной установки применялись манометры деформационные образцовые с условными шкалами типа МО и классам точности 0,15, предназначенные для проверки технических манометров. Эти приборы выпускаются по ТУ 25-05-1664-74 и могут эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности не более 80 % при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. На насосе пожарного автомобиля давление измеряется техническим пружинным манометром.

При давлении в рукавной линии от 2 до $2,5\text{ кгс/см}^2$ использовались манометры типа МО модели 1227 (класс точности – 0,15; предел измерений – от 0 до $2,5\text{ кгс/см}^2$, шкала – 400 делений).

При давлении в рукавной линии от $2,5$ до 4 кгс/см^2 использовались манометры типа МО модели 1227 (класс точности – 0,15; предел измерений – от 0 до 4 кгс/см^2 , шкала – 400 делений).

При давлении в рукавной линии от 4 до 6 кгс/см^2 использовались манометры типа МТП-160А (класс точности – 1,5; предел измерений – от 0 до 6 кгс/см^2 , шкала – 400 делений).

При давлении в рукавной линии от 7 до 10 кгс/см^2 использовались манометры МО модели 1227 (класс точности – 0,15, предел измерений – от 6 до 10 кгс/см^2 , шкала – 400 делений).

Схема подключения манометров в измерительные участки экспериментальной установки показана на рис. 3.

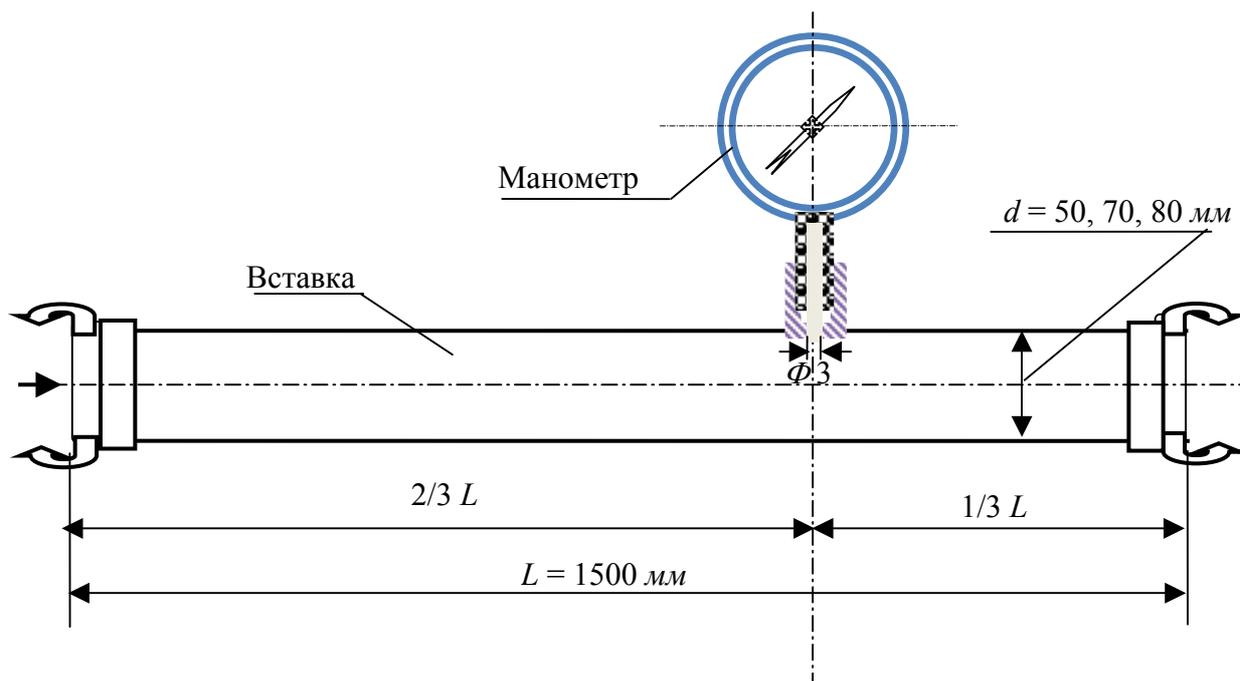


Рис. 3. Схема монтажа манометра на вставки с условными внутренними диаметрами 50 мм, 70 мм, 80 мм; длина вставок $L = 1500$ мм

Методика проведения эксперимента заключается в снятии показаний с измерительных приборов установки при постоянном расходе воды и давлении на входе в опытный участок и последующей обработке опытных данных.

Измеряемые величины: P_1 – давление на входе в рукавную линию, $кгс/см^2$; P_2 – давление на выходе из рукавной линии, $кгс/см^2$; t – температура воды, $°C$; W – объем воды, прошедшей через счётчик за время τ , $м^3$; τ – время, $с$; l – длина рукавной линии, $м$; d – диаметр рукава, $м$.

Обработка опытных данных проводится по следующим формулам:

$$Q = \frac{\omega}{\tau} \text{ – расход воды, протекающей в единицу времени, } м^3/с \text{ (л/с);}$$

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \text{ – средняя скорость движения воды в рукавной линии, } м/с;$$

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ – скоростной напор, } м, \text{ где } g = 9,81 \text{ } м/с^2 \text{ – ускорение свободного}$$

падения;

$$h = \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g} \text{ – потери напора на преодоление гидравлического сопротив-$$

тивления по длине рукавной линии, где ρ – плотность воды, $кг/м^3$;

$$\lambda = \frac{h}{\frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}} \text{ – коэффициент гидравлического трения;}$$

$$A = \frac{h}{1 \cdot Q^2} \text{ – удельное сопротивление рукава, } c^2/л^2;$$

$S = A \cdot 20$ – гидравлическое сопротивление одного рукава длиной 20 м. $(с/л)^2 \cdot м$;

$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$ – число Рейнольдса, где ν – коэффициент кинематической вязкости, $м^2/с$.

Оценим погрешности определения коэффициента гидравлического сопротивления и удельного сопротивления рукавной линии.

Для того, чтобы правильно поставить опыты по выбранной методике, необходимо заранее знать возможные ошибки измерений прибором в соответствии с его классом точности или нормированной точности измерений по данным завода-изготовителя; ошибки, связанные с подключением приборов и условиями их эксплуатации, ошибки опыта, носящие случайный характер.

Подключение манометров осуществлялось при помощи вставок (рис. 3) такого же диаметра, что и диаметр рукавной линии с предвключенным участком перед манометром $\left(\frac{l}{d} = 20 \div 13\right)$ и участком после манометра. Отверстия для отбора давления в местах установки манометров было выполнено так, что не вносило возмущений в поток ($d = 3$ мм и края отверстий зачищались от заусенцев).

Турбинный преобразователь расхода имел прямой участок перед преобразователем – $20 d$ и после него – $10 d$. Эти мероприятия позволили исключить систематические ошибки в измерении давления и расхода.

Количественной оценкой точности результатов измерений является относительная ошибка опыта. Она представляет собой частное от деления абсолютной ошибки опыта Δu на абсолютное значение измеряемой величины u . Поскольку в первом приближении можно принять $\frac{\Delta u}{u} = \frac{du}{u}$, а, как известно, $\frac{du}{u} = d(\ln u)$, то относительная ошибка одного опыта определяется полным дифференциалом от натурального логарифма измеряемой переменной величины u . Если исследуемая величина u является заданной

функцией нескольких независимых переменных, определяемых опытам, $u = f(k_1, k_2, k_3 \dots k_n)$, то

$$\frac{du}{u} = d(\ln u) = d \ln f(k_1, k_2, k_3 \dots k_n)$$

и относительная ошибка измерения u составит значение, равное сумме абсолютных значений всех слагаемых этого уравнения. На основании опытных данных λ определяется следующим уравнением:

$$\lambda = \frac{P_1 - P_2}{\rho g \frac{l}{d} \frac{w^2 8}{\tau^2 \pi^2 d^4 g}} \quad (1)$$

Выполняя операции, описанные выше, и считая ошибки в определении постоянных величин и плотности воды несущественными, по сравнению с ошибками измеряемых величин, получим формулу для определения относительной ошибки измерения линейного гидравлического сопротивления λ :

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{P_1 - P_2} + \frac{\Delta l}{l} + 5 \frac{\Delta d}{d} + 2 \frac{\Delta w}{w} + 2 \frac{\Delta \tau}{\tau} \quad (2)$$

где Δ - абсолютные ошибки измерений отдельных величин с помощью имеющихся приборов.

В работе проверялась длина каждого испытуемого рукава и отклонение длины 20 м рукава не превышало 0,02 м, а на линию из 5 рукавов не более 0,1 м. Таким образом, ошибка $\frac{\Delta l}{l}$ составляла 0,1 %. Увеличение длины при изменении давления различно для разных условных диаметров рукавов, но не превышает 4 %.

В табл. 1 приведены допускаемые в соответствии с ТУ отклонения диаметра латексированных и льняных рукавов от условного диаметра. Изменения значения коэффициента линейного сопротивления λ при допускаемых отклонениях диаметра рукавов от условного, определенные по формуле 1, приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что при правильно выполненных приборных измерениях, но при использовании при обработке опытных данных условного диаметра рукава, расхождения в определении сопротивления рукава различными авторами может отличаться на 20 % для латексированных рукавов 1-го сорта с условным диаметром 51 мм и на 42 % для этих рукавов 2-го сорта и льняных рукавов. Для рукавов с условным диаметром 66 мм отличие в λ может быть на 16 % для латексированных рукавов 1-го сорта и на 32 % для латексированных рукавов 2-го сорта и льняных рукавов. Для рукавов с условным диаметром 77 мм отличие в λ может быть на 14 % для латексированных рукавов 1-го сорта и на 28 % для латексированных рукавов 2-го сорта и для льняных рукавов.

Таблица 1

Изменение λ в пределах допустимого отклонения диаметра рукавов

Условный диаметр рукава	Допустимые отклонения от $d_{\text{усл}}$ для типа рукава в мм		$\lambda_{\text{расч}}/\lambda_{\text{усл}}$		
	Латексированные		Льняные	Латексированные	Льняные
51 мм	Сорт 1	± 1	± 2	$\pm 1,1$	$\pm 1,21$
	Сорт 2	± 2		$\pm 1,21$	
66 мм	Сорт 1	± 1		$\pm 1,08$	$\pm 1,16$
	Сорт 2	± 2		$\pm 1,16$	
77 мм	Сорт 1	± 1		$\pm 1,07$	$\pm 1,14$
	Сорт 2	± 2		$\pm 1,14$	

Для того, чтобы сравнивать опытные значения сопротивления рукавов, полученные различными авторами, необходимо знать действительный диаметр (или, как его чаще называют, расчетный диаметр) используемых в опыте рукавов. Однако, в известных публикациях указывают обычно только условный диаметр рукавов, что удобно для пользователей при расчете потерь напора в рукавных линиях. Для того, чтобы можно было сопоставить результаты исследования с данными других авторов в работе определялся внутренний расчетный диаметр рукавов. Внутренний диаметр определялся двумя способами: первый – измерением наружного диаметра рукава при давлении 2-6 кгс/см² и толщины стенки рукава штангенциркулем; второй – заполнением водой рукавной линии под давлением 4 кгс/см² и последующим измерением объема воды. Диаметр рассчитывался по формуле

$$d_{\text{вн}} = 2 \sqrt{\frac{W}{\pi l}},$$

где W – объем слитой из рукава воды, l – длина рукавной линии.

Заполнение рукавной линии осуществлялось от гидранта и перекрывался рабочий участок.

Результаты измерений внутренних диаметров используемых в исследованиях автора рукавов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Определение расчетных диаметров рукавов

Материал рукава	Условный диаметр, мм	Расчетный диаметр (1 способ), мм	Расчетный диаметр (2 способ), мм	Среднее значение расчетного диаметра, мм
Латексированные	51	53,2	52,8	53
	66	67,7	67,3	67,5
	77	77,3	76,7	77
Льняные	66	66,9	66,5	66,7
	77	78,0	77,8	77,9
Химически стойкие	51	53,4	53,2	53,3

Погрешность определения внутреннего диаметра ($d_{\text{вн}}$) при измерении

штангенциркулем будет определяться по формуле:

$$\frac{\Delta d_{\text{вн}}}{d_{\text{вн}}} = \frac{\Delta d_{\text{н}} + 2\Delta \delta_{\text{стн}}}{d_{\text{вн}}},$$

где $\Delta d_{\text{н}}$ – погрешность определения наружного диаметра рукава; $\Delta \delta_{\text{стн}}$ – погрешность определения толщины стенки рукава; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр рукава.

Погрешность измерения линейного размера штангенциркулем составляет 0,1 мм. Однако при определении толщины стенки возникает ошибка за счет смятия материала рукава.

Погрешность определения внутреннего диаметра объёмным способом определится по формуле:

$$\frac{\Delta d_{\text{вн}}}{d_{\text{вн}}} = 0,5 \left(\frac{\Delta w}{w} + \frac{\Delta l}{l} \right)$$

Для определения объёма воды в рукавной линии использовалась мерная емкость диаметром 0,7 м и высотой 1,5 м с ценой деления на водомерной стеклянной трубке 0,5 л. Таким образом, абсолютная ошибка измерения объёма слитой из рукавной линии воды не превышала 1 л, что в худшем случае давало погрешность в определении объёма воды не более 0,5 %. Однако в этом способе возможна погрешность за счет некоторого остатка воды в рукавной линии.

Сравнение двух методов измерения внутреннего диаметра (табл. 2) показывает их сходимость в пределах точности выполненных измерений.

Для манометров МО модели 1227 с классом точности 0,15 абсолютная ошибка измерения давления в зависимости от предела измерения приведена в табл. 3.

Таблица 3

Значения допустимой абсолютной ошибки ΔP для МО модели 1227

№ п/п	Диапазон измерения, кгс/см ²	Максимальная допустимая ошибка ΔP , кгс/см ²
1	0-2,5	0,00375
2	0-4	0,006
3	0-6	0,009
4	0-10	0,015

В табл. 4. приведена техническая характеристика счётчика РТФ 080.

Таблица 4

Характеристика счётчика РТФ 080

$d_{\text{вн}}$, мм	$Q_{\text{мин}}$, м ³ /ч	$Q_{\text{п}}$, м ³ /ч	$Q_{\text{н}}$, м ³ /ч	$Q_{\text{макс}}$, м ³ /ч	Порог чувствительности, м ³ /ч
78	1,0	5,5	50	155	0,3

Под наибольшим расходом Q_{\max} понимается расход, при котором счётчик может работать не более 1 часа в сутки. Под номинальным Q_n понимается расход, при котором счётчик может работать непрерывно в течение длительного времени. Под переходным расходом Q_p понимается расход, выше которого счётчик имеет погрешность $\pm 2\%$ от измеряемой величины, а ниже которого – погрешность $\pm 5\%$. Под наименьшим Q_{\min} понимается расход, при котором счётчик имеет относительную погрешность $\pm 5\%$ и ниже которого относительная погрешность не нормируется. Под порогом чувствительности понимается расход, при котором турбинка приходит в непрерывное вращение.

Таким образом, относительная погрешность измерения объёма $(\frac{\Delta w}{w} * 100)$ в диапазоне $5,5 \text{ м}^3/\text{ч} < Q < 155 \text{ м}^3/\text{ч}$, что соответствует $1,53 \text{ л/с} < Q < 43 \text{ л/с}$ не превышает $\pm 2\%$.

Начало и конец замера определялись с точностью $0,5 \text{ с}$ и относительная погрешность в измерении интервала времени составила

$$\frac{\Delta \tau}{\tau} = \frac{0,5}{60} \cdot 100 = 0,83\% \approx 1\%$$

С учётом оценок погрешностей отдельных составляющих определена погрешность каждого опыта по формуле (2). Основную ошибку в измерение λ вносит измерение перепада давления по длине рукавной линии.

Литература

1. Повзик Я.С. Справочник руководителя тушения пожара. – Спецтехника, 1998.
2. Абросимов Ю.Г. Гидравлика. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005.
3. Абросимов Ю.Г., Подгрушный В.В., Ермошин Д.И. Оценка точности определения расхода воды на пожаротушение по показанию манометра на автонасосе // Научно-технический журнал "Пожаровзрывобезопасность", № 5, 2004.
4. <http://www.avtokeep.ru/01/01/table.php>.
5. Норма рукава: прорезиненные ГОСТ 7877-75; латексированные ТУ 17РСФСР 40-6851-77 и ТУ 75.080.05.026-89; с двухсторонним полимерным покрытием ТУ17 РСФСР 40-11118-86; пластмассовые армированные ТУ6-19-151-88; льняные ГОСТ 472-75; льноджутовые ТУ17РСФСР 40-10257-82.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 21 августа 2009 г.