

---

---

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

---

---

## ОБОРУДОВАНИЕ ПЕННОГО ТУШЕНИЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ: СОСТОЯНИЕ, ИННОВАЦИИ, ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

**А.И. Преснов, кандидат технических наук, доцент;**

**А.А. Печурин, кандидат технических наук, доцент;**

**А.В. Данилевич.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены и проанализированы системы получения водного раствора пенообразователя и воздушно-механической пены насосных установок пожарных автомобилей в России и за рубежом на современном этапе. Показаны их преимущества и недостатки. Представлены различные конструктивные технические решения при разработке данных систем.

*Ключевые слова:* пенообразователь, водный раствор, воздушно-механическая пена, насосный агрегат, система дозировки, технология подачи, компрессионная пена

## EQUIPMENT FOAM FIRE FIGHTING PUMPING SYSTEMS OF FIRE-FIGHTING VEHICLES: STATUS, INNOVATIONS, PROBLEMS, TECHNICAL SOLUTIONS

A.I. Presnov; A.A. Pechurin; A.V. Danilevich.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Considered and analyzed the system of obtaining an aqueous solution of foaming agent and air-mechanical foam pumping units of fire trucks in Russia and abroad at the present stage. Their advantages and disadvantages are shown. Various design technical solutions for the development of these systems are presented.

*Keywords:* foaming agent, water solution, air-mechanical foam, pumping unit, dosage system, technology supply, compression foam

Среди огнетушащих веществ воздушно-механическую пену можно рассматривать как наиболее распространённое (после воды) средство локализации и ликвидации очагов горения. Тушение пожаров на промышленных предприятиях, складах нефтепродуктов, транспорте невозможно представить без пенного пожаротушения. Воздушно-механическая пена (ВМП), в виду своей структуры, способна не только охлаждать горящие материалы, но и перекрывать доступ кислорода в зону горения. Применение ВМП при тушении пожара приводит к сокращению расхода воды. С помощью ВМП осуществляется возможность объёмного пожаротушения.

Пожарная автоцистерна любого класса и типа (более 80 % от общего парка пожарных автомобилей) имеет в своём составе оборудование для получения ВМП.

Подачу огнетушащих веществ, в том числе и ВМП при тушении большинства пожаров обеспечивают насосные установки, монтируемые на основных пожарных автомобилях. В России в соответствии с требованиями [1], в состав пожарного насоса должна входить система подачи и дозировки пенообразователя, которая может быть ручного или автоматического типа.

В настоящее время пожарные автомобили комплектуются различными системами пенного пожаротушения, которые можно условно разделить по способу получения ВМП и по способу получения пенного раствора.

Получают ВМП, как традиционно, путём смешивания пенного раствора (водного раствора пенообразователя) с воздухом в воздушно-пенных стволах или пеногенераторах, так и инновационно компрессионным способом – пневматическая пена.

Для получения пенного раствора широко применяются различные системы пеносмешения (получения водного раствора пенообразователя) эжекционного типа. Основой данных систем является струйный (водоструйный) насос, в котором пенообразователь перемещается (эжектируется) потоком воды на выходе из сопла в диффузор. Необходимая процентная концентрация пенного раствора создаётся при помощи калиброванного крана (крана-дозатора), установленного на линии подачи пенообразователя в струйный насос. Данные системы просты и компактны в конструктивном исполнении, имеют высокую надёжность из-за отсутствия подвижных (трущихся) деталей, но при этом характеризуются общим недостатком – низким коэффициентом полезного действия (КПД).

Струйный насос является составной частью струйной насосной установки, при этом производительность насоса зависит от ряда факторов. Так кавитационные явления, происходящие в водоструйном насосе, из-за снижения статического давления на выходе из сопла в диффузор, могут значительно влиять и сокращать объём перекачиваемой жидкости. Одним из требований при эксплуатации водоструйных насосов является поддержание давления рабочей жидкости и недопущение увеличения противодавления выше указанного в инструкции по эксплуатации.

Снижение эффективности работы водоструйного насоса может быть вызвано деформацией или сдвигом его элементов, а именно: нарушением центровки сопла по отношению оси камеры смешения, изменением расстояния между соплом и диффузором, а также засорением отверстия сопла и всасывающего трубопровода и нарушение герметичности тех частей струйного насоса, которые находятся под разрежением.

Пеносмесители эжекционного типа устанавливаются в составе насосного агрегата между напорной и всасывающей полостями насоса или в составе насосной установки на водяной напорной магистрали.

При установке в составе насосного агрегата часть подаваемой насосом воды расходуется для работы пеносмесителя, что в итоге снижает подачу, напор и соответственно КПД пожарного насоса. Кроме того, наличие в корпусе пожарного насоса водного раствора пенообразователя сокращает срок его службы.

Установка пеносмесителя на водяной напорной магистрали пожарного насоса позволяет осуществлять раздельную подачу воды и ВМП. При подаче ВМП по такой схеме пожарный насос используется для подачи воды. Но в этом случае пеносмеситель оказывает большое сопротивление и соответственно снижает напор на выходе.

Эжекционные системы подачи и дозировки пенообразователя ручного типа уже много лет апробированы в составе отечественных и зарубежных пожарных насосов. Существенный недостаток данных систем – большая погрешность при получении требуемой процентки водного раствора пенообразователя и особенно при изменении режима работы пожарного насоса.

Более высокую точность дозирования обеспечивают автоматические системы подачи и дозировки пенообразователя. В таких системах при получении водного раствора дозирование происходит пропорционально расходу водного потока и в соответствии с типом пенообразователя.

Уже много лет на отечественных пожарных автомобилях находит применение насос центробежный пожарный комбинированный NH-30 австрийской фирмы «Rosenbauer», который предназначен для подачи воды и водных растворов пенообразователей и прошёл испытания в ФГУ ВНИИПО МЧС России. Насос оборудован простой и надёжной автоматической системой дозирования пенообразователя эжекционного типа «FIX MIX», которая позволяет без участия оператора производить дозировку пенообразователя для получения 3 % или 6 % его водного раствора независимо от расхода и давления на насосе в пределах диапазона производительности насоса от 0 до 40 л/с и во всём диапазоне рабочих давлений. Система «FIX MIX» работает как в режиме нормального давления (НД), так и высокого давления насоса.

Принцип работы автоматической системы дозирования пенообразователя в режиме НД «FIX MIX» следующий (рис. 1): находясь в зависимости от уровня подачи воды ступени НД нижняя часть дозирующего пропорционального клапана 1 поднимается в соответствии с показателями расхода воды. Это поднимающееся движение передается на клапан дозировки пены 2. Когда система дозирования пенообразователя активизируется и открывается клапан 9, пенообразователь из пенобака 6 через пенный клапан 2 эжектируется в струйный насос 8, и, смешиваясь с водой, образует в насосе водный раствор требуемой концентрации. Таким образом, дозирование пенообразователя в насосе происходит в соответствии с расходом водного потока.

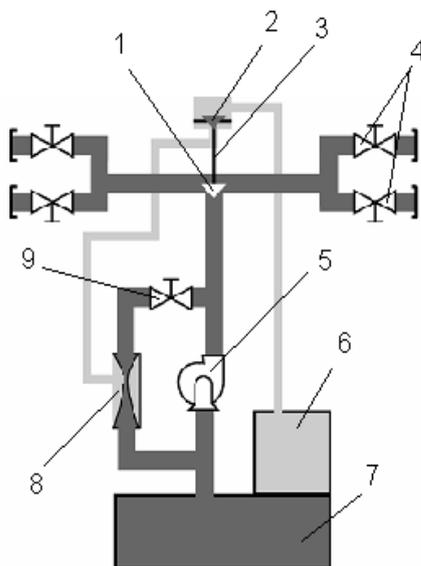


Рис. 1. Схема устройства автоматической системы дозирования пенообразователя в режиме НД «FIX MIX» [2]:

- 1 – водный клапан (конус) дозирующего пропорционального клапана; 2 – пенный клапан (конус) дозирующего пропорционального клапана; 3 – шток дозирующего пропорционального клапана; 4 – напорные вентили ступени НД; 5 – ступень НД пожарного насоса NH-30; 6 – бак с пенообразователем; 7 – цистерна с водой; 8 – инжектор; 9 – клапан подачи воды под НД к инжектору**

Автоматическую система дозирования пенообразователя иного типа – FireDos фирма Magirus устанавливает на пожарные автомобили. Принцип её действия основан на использовании энергии потока воды, проходящего через гидромотор. Энергия потока

преобразуется в крутящий момент, который передается на вал плунжерного насоса. Насос под высоким давлением (около 40 бар) подаёт пенообразователь в этот водный поток. Внутренний объем гидромотора и объем плунжеров подбираются таким образом, чтобы обеспечить требуемое соотношение воды и пенообразователя для получения раствора. Использование системы плунжерного насоса позволяет осуществлять забор пенообразователя из посторонней ёмкости, находящейся на более удалённом расстоянии (как по вертикали, так и по горизонтали) от пеносмесителя в сравнении с пеносмесителями эжекционного типа. Плунжерный насос FireDos позволяет подавать в водный поток пенообразователь, кинематическая вязкость которого в несколько раз превышает требования ГОСТ Р 50588–2012 [3] ( $100 \text{ мм}^2 \text{ с}^{-1}$ ).

Автоматические системы подачи и дозировки пенообразователя, в сравнении с ручными, дают меньшую погрешность дозирования. Их недостатком может быть признана более сложная (по сравнению с ручными системами) конструкция. При их эксплуатации требуется выполнение определённых операций технического обслуживания. Например, при эксплуатации системы FireDos требуются операции технического обслуживания, связанные с проверкой уровня и заменой смазки в насосе.

В ручных и автоматических системах подачи и дозировки пенообразователя насосных установок пожарных автомобилей, приведённых выше, получение водного раствора пенообразователя обеспечивается механическим путём и не позволяет контролировать основные параметры при работе данных систем. В настоящее время как за рубежом, так и в нашей стране находят применение электронные системы дозирования пенообразователя, в которых аналогично автоматическим системам дозирования, водопенный раствор получают путём впрыска пенообразователя в напорные патрубки пожарного насоса или напорные рукавные линии. Принцип работы данных систем следующий [4]: при подаче воды от пожарного насоса расходомер измеряет поток воды и посылает сигнал на цифровой блок управления микропроцессора, который в зависимости от установочных параметров концентрации водного раствора пенообразователя, подаёт управляющую команду на выбор режима работы насоса, подающего пенообразователь. В итоге системы обеспечивают постоянное соотношение пенообразователя в потоке воды, независимо от изменений давления и расхода на выходе пожарного насоса. При увеличении или уменьшении напора и расхода воды количество впрыскиваемого пенообразователя автоматически увеличивается или уменьшается. Системы позволяют не только устанавливать необходимую процентную концентрацию пенообразователя в водном растворе, но и получать сведения об общем количестве воды и пенообразователя за период эксплуатации, отображать давление впрыска пенообразователя и др.

До настоящего времени в России такие системы применялись в основном зарубежного производства: FoamPro, Hale FoamLogix, которые обеспечивают концентрацию водного раствора пенообразователя в пределах от 0,1 % до 10 % с точностью дозирования  $\pm 0,05$  %, STD (модели Triton, Cameleon, Salamandre) с дозировкой от 1 % до 6 % и др.

Системы пеносмещения FoamPro (производство США, поставщик в Россию ООО ТПП «Пеленг») создают водный раствор пенообразователя в диапазоне расходов пожарного насоса от 3 л/с до 120 л/с. Насос, подающий пенообразователь, в зависимости от модели системы может иметь гидравлический привод (гидромотор) или электродвигатель постоянного тока напряжением 24 В. Система FoamPro работает следующим образом (рис. 2). При подаче воды пожарным насосом 1 расходомер 4 измеряет поток воды и подаёт электрический сигнал на цифровой блок управления 2 микропроцессора. Производительность насоса 6, подающего пенообразователь, контролируется датчиком и микропроцессором. Постоянное сравнение этих двух сигналов микропроцессором обеспечивает постоянное соотношение пенообразователя в потоке воды, независимо от изменений давления и расхода на выходе пожарного насоса 1. При увеличении или уменьшении напора и расхода воды количество впрыскиваемого пенообразователя автоматически увеличивается или уменьшается. Пенообразователь впрыскивается в поток

воды на выходе из пожарного насоса 1. Контрольный (обратный) клапан 3 исключает попадание пенообразователя в пожарный насос и ёмкость для воды.

Системы FoamLogix (в зависимости от модели) работают в диапазоне расхода воды от 0,5 л/с до 300 л/с и комплектуются насосами, подающими пенообразователь с электродвигателем постоянного тока. Работа электронной системы дозировки и впрыска пенообразователя Foam Logix рассмотрена в работе [4].

В системах пеносмещения компании CTD подачу пенообразователя обеспечивает 3-поршневой насос с электроприводом. Регулировка подачи пенообразователя происходит за счёт изменения частоты вращения электрического двигателя напряжением 12 или 24 В в пропорции к расходу воды (табл. 1).

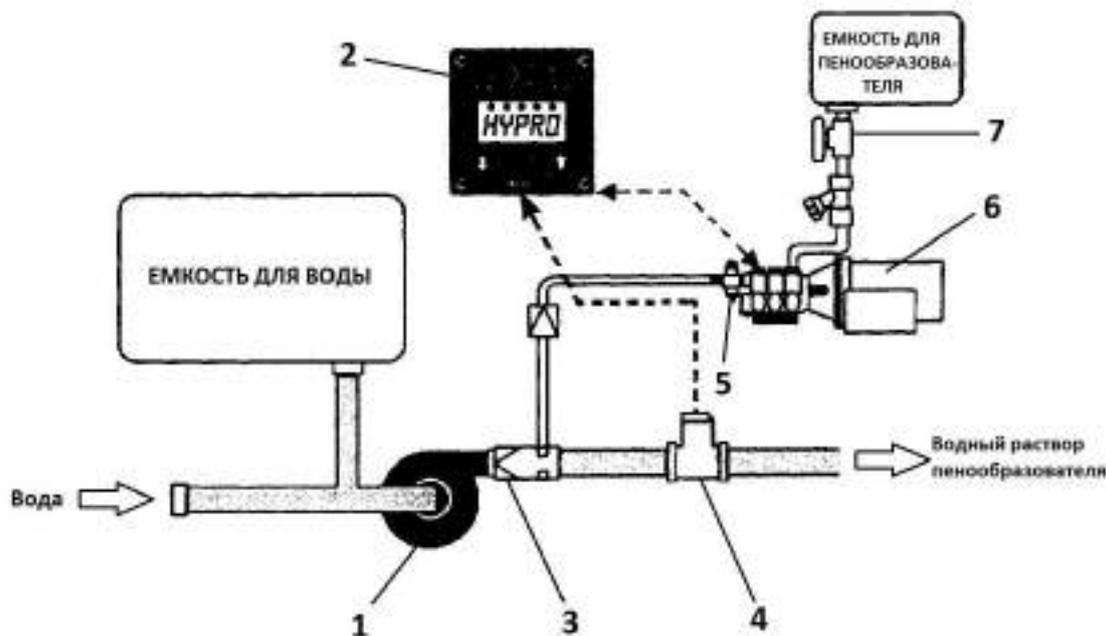


Рис. 2. Общая компоновочная схема системы FoamPro:

1 – пожарный насос; 2 – цифровой блок управления; 3 – контрольный (обратный) клапан; 4 – расходомер; 5 – дозирующий нагнетательный клапан; 6 – насос и двигатель для подачи пенообразователя; 7 – фильтр

Таблица 1

Модель системы CTD	Диапазон расхода воды, л/мин
Triton	30...1 250
Cameleon	50...4 000
Salamandre	100...20 000

Система модели Triton обеспечивает дозированный впрыск пенообразователя в напорные линии нормального давления (20 бар) и высокого давления (40 бар) комбинированных пожарных насосов.

В некоторых системах дозировки пенообразователя реализуются и другие конструктивные решения. Так, в системе PDmatic компании PF Pumpen und Feuerlöschtechnik GmbH с торговой маркой JOHSTADT (Германия) для привода насоса, подающего пенообразователь, используется энергия от приводного вала пожарного насоса, в результате не требуется дополнительная энергия привода. При этом оборудование системы монтируется на корпусных деталях пожарного насоса.

В настоящее время такие системы производят и в России. АО «Транснефть-Верхняя Волга» (г. Нижний Новгород) изготавливает установки дозирования пенообразователя

АУДП-100 и АУДП-150 для применения с центробежными пожарными насосами нормального давления производительностью 100 и 150 л/с (табл. 2).

Установка АУДП имеет три независимых канала впрыска – в три напорные магистрали различного диаметра. Регулирование количества впрыскиваемого пенообразователя в каждом канале осуществляется автоматически, независимо от двух других каналов. Процесс автоматического регулирования организован по принципу системы с обратной связью, а именно: управляющее воздействие, направленное на увеличение (уменьшение) концентрации раствора пенообразователя, в потоке формируется в зависимости от того, какое значение концентрации фактически имеет место в текущий момент времени. Если фактическая концентрация пенообразователя в данный момент времени превышает заданную, то система автоматически формирует и подаёт управляющий сигнал на исполнительный орган, который под воздействием этого сигнала уменьшает количество впрыскиваемого пенообразователя. И, наоборот, в случае недостаточной концентрации раствора формируется противоположное воздействие, направленное на увеличение количества впрыскиваемого пенообразователя. Исполнительным органом, осуществляющим регулирование расхода, является кран-регулятор с электроприводом, установленный в каждой из трёх магистралей, по которым пенообразователь под давлением впрыскивается в поток воды. Фактическая концентрация раствора пенообразователя определяется путём непосредственного измерения расхода воды и пенообразователя в каждом канале регулирования. Эти данные в форме электрических сигналов поступают в электронный блок, где производится их обработка и формируется управляющий сигнал на кран-регулятор. Впрыск пенообразователя обеспечивается шестерённым насосом с приводом от гидравлической системы, состоящей из регулируемого гидронасоса (приводится во вращение от дополнительной трансмиссии автомобиля) и гидромотора.

Таблица 2. Технические характеристики АУДП [5]

Наименование параметра	Значение параметра	
	АУДП-100	АУДП-150
Номинальное значение производительности установки по раствору пенообразователя, л/с	100	150
Номинальное значение давления воды, в поток которой осуществляется дозированный впрыск пенообразователя, МПа	1,0	
Рабочий диапазон давлений воды, в котором установка обеспечивает дозированный впрыск пенообразователя, МПа	0,5–1,5	
Рабочий диапазон производительности по раствору пенообразователя (суммарно по всем каналам), л/с	3–120	3–180
Количество независимых каналов впрыска пенообразователя	3	
Условный проход водных напорных магистралей: 1 канал 2 канал 3 канал	DN 150 мм DN 80 мм DN 80 мм	DN 150 мм DN 150 мм DN 80 мм
Условный проход пенных магистралей, через которые осуществляется впрыск пенообразователя в водные магистрали: 1 канал 2 канал 3 канал	DN 40 мм DN 25 мм DN 15 мм	DN 40 мм DN 40 мм DN 15 мм
Концентрация раствора пенообразователя (соотношение по объёму) задаваемая и автоматически обеспечиваемая установкой в каждом независимом канале, %	1, 3, 6	
Точность автоматического поддержания заданной концентрации раствора пенообразователя в каждом независимом канале (относительное отклонение), %	5	
Потребляемая мощность гидронасоса, кВт	45	60
Номинальное напряжение электропитания, В	24	

На рис. 3 представлена схема водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны АЦ-7,0-150(IVECO-АМТ 693912) с центробежным насосом ПН, оборудованном автоматической установкой дозирования пенообразователя АУДП-150, которая обеспечивает дозированный впрыск пенообразователя в напорные магистрали пожарного насоса, и резервной системой дозирования пенообразователя эжекционного типа.

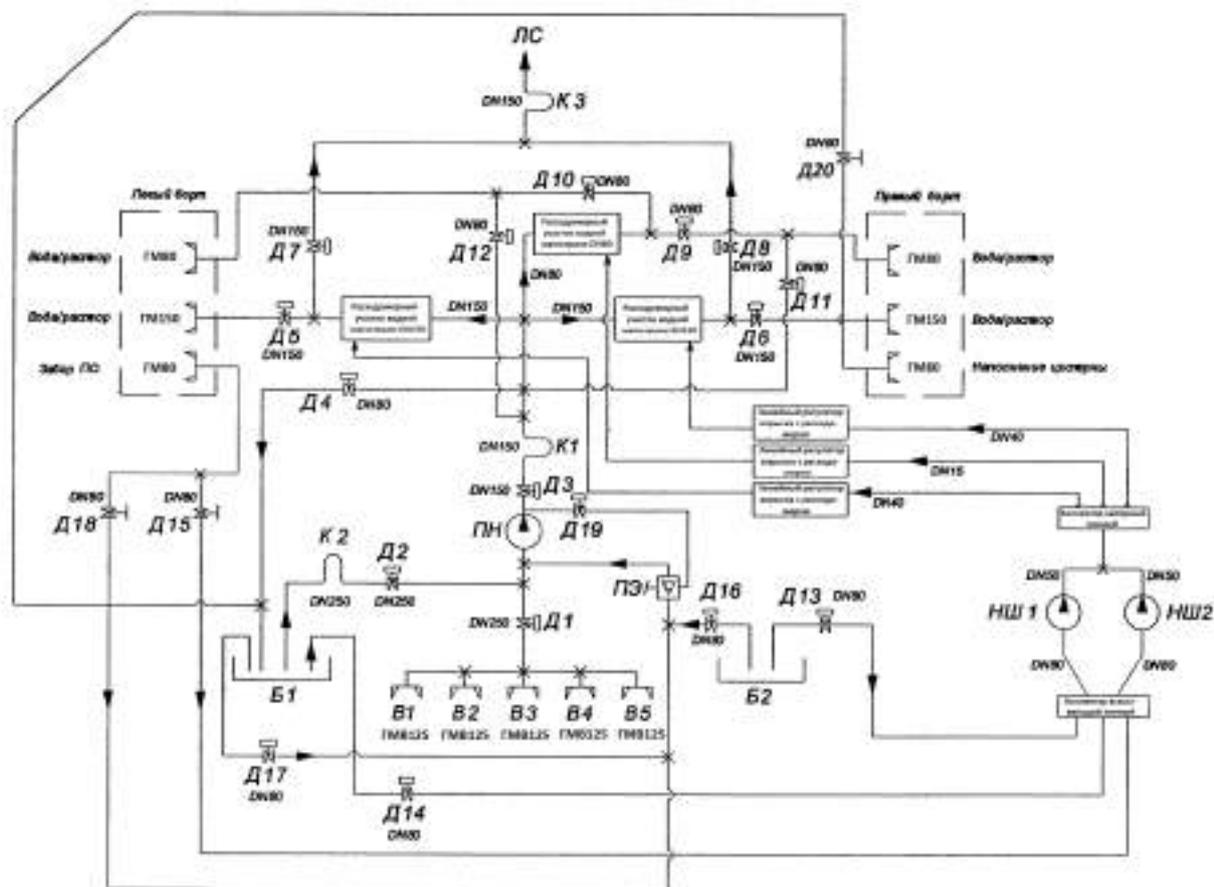


Рис. 3. Схема водопенных коммуникаций пожарной автоцистерны АЦ-7,0-150(IVECO-АМТ 693912)

Б1 – ёмкость для воды (цистерна); Б2 – ёмкость для пенообразователя (пенобак);  
 В1...В5 – всасывающие патрубки; ПН – пожарный насос Johstadt NP 10000; ЛС – лафетный ствол;  
 ПЭ – пеносмеситель эжекторного типа (PV-500); НШ1, НШ2 – насосы пенные;  
 К1...К3 – компенсаторы антивибрационные; Д1...Д14, Д16, Д17, Д19 – затворы дисковые,  
 поворотные с пневмоуправлением; Д15, Д18, Д20 – затворы дисковые, поворотные с ручным  
 управлением

В целом электронные системы дозирования пенообразователя позволяют получать пенный раствор с большей точностью смешивания пенообразователя с водой в сравнении с ручными и автоматическими системами получения водного раствора пенообразователя, рассмотренными ранее. Кроме того, электронные методы подачи и дозирования пенообразователя позволяют обеспечивать создание водного раствора любой кратности. В отличие от систем пеносмешения эжекторного типа данные системы создают меньшее сопротивление потоку, тем самым снижая потери напора. Применение таких систем в составе насосной установки пожарного автомобиля позволяет пожарному насосу при пенном тушении осуществлять подачу только воды, а также создаёт возможность одновременной подачи от насосного агрегата воды и водного раствора пенообразователя. При этом аналогично автоматическим системам дозирования пенообразователя, данные системы имеют сложную конструкцию, а применение микропроцессора увеличивает их цену.

Как отмечалось ранее, сегодня ВМП получают не только традиционным способом в воздушно-пенных стволах и пеногенераторах, но и инновационно-компрессионным способом: способом принудительного вспенивания сжатым воздухом водного раствора пенообразователя в смесительной камере и транспортировки к месту пожара по трубопроводам и пожарным рукавам. В Европе и США данный способ реализован на базе электронных систем дозирования пенообразователя. Так на базе системы FoamLogix американская компания «Hale» создала систему тушения CAFS, основные элементы которой включают в себя систему дозировки и впрыска пенообразователя Foam Logix (или другую), смеситель и компрессор. Немецкие фирмы Schmitz и Meinicke производят установки для тушения пожара пневматической пеной «One Seven», которые имеют модульную конструкцию и по устройству напоминают систему CAFS. Общие сведения об устройстве и работе данных систем рассмотрены в работе [4].

В России на заводе пожарных автомобилей «Спецавтотехника» (г. Екатеринбург) разработали несколько иную в отличие от зарубежных стран отечественную технологию получения компрессионной пены «Natisk». По данной технологии полученный с помощью дозирующего насоса поршневого типа водный раствор пенообразователя находится в специальной ёмкости, откуда под давлением поступает в смесительную камеру, где перемешивается со сжатым воздухом. Устройство и работа установки «Natisk» более подробно рассмотрены в работе [4].

Компрессионный способ получения и подачи ВМП показал высокую эффективность тушения при минимальном расходе огнетушащих средств. Транспортирование уже готовой ВМП по напорным пожарным рукавам показало определённые преимущества при тушении пожаров, особенно в высотных зданиях. Так, за счёт однородной структуры компрессионной пены (без остаточной жидкой фазы водного раствора пенообразователя) возможно осуществлять её подачу на высоту более 100 м при использовании насосных и компрессорных установок нормального давления. Кроме того, при прокладке напорных рукавных линий, заполненных компрессионной пеной, в сравнении с водой и водными растворами требуются меньшие трудозатраты.

При этом на практике из-за ограничений по производительности получаемой ВМП, данный способ эффективен при тушении локальных пожаров. Его невозможно использовать при объёмном пожаротушении и так называемых «пенных атаках». Проблемные вопросы данных систем рассмотрены в работе [4].

В итоге можно сделать вывод, что даже в перспективе традиционный способ получения ВМП в воздушно-пенных стволах и пеногенераторах будет востребован при необходимости её подачи с большой производительностью.

## **Литература**

1. ГОСТ Р 52283–2004. Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний // Открытая база ГОСТов. URL: StandartGOST.ru (дата обращения: 29.07.2019).
2. Пожарная автоцистерна АЦ-3,2-40/4(43253) модель 001-МС: Руководство по эксплуатации 001-МС-00-000-00РЭ. М.: ЗАО «Производственное объединение «Спецтехника пожаротушения», 2011.
3. ГОСТ Р 50588–2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний // Открытая база ГОСТов. URL: StandartGOST.ru (дата обращения: 29.07.2019).
4. Преснов А.И., Данилевич А.В. Системы пенного тушения пожарных автомобилей. Новые технологии, проблемные вопросы, перспективы // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 3. С. 47–54.
5. Установки дозирования пенообразователя «АУДП-100» и «АУДП-150». Руководство по монтажу и эксплуатации КШИН.063838.001РЭ. Н. Новгород: АО «Транснефть-Верхняя Волга», 2013.

## References

1. GOST R 52283–2004. Nasosy centrobezhnye pozharnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Otkrytaya baza GOSTov. URL: StandartGOST.ru (data obrashcheniya: 29.07.2019).
2. Pozharnaya avtotsisterna AC-3,2-40/4(43253) model' 001-MS: Rukovodstvo po ekspluatsii 001-MS-00-000-00RE. M.: ZAO «Proizvodstvennoe ob"edinenie «Spectekhnika pozharotusheniya», 2011.
3. GOST R 50588–2012. Penoobrazovateli dlya tusheniya pozharov. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy // Otkrytaya baza GOSTov. URL: StandartGOST.ru (data obrashcheniya: 29.07.2019).
4. Presnov A.I., Danilevich A.V. Sistemy pennogo tusheniya pozharnyh avtomobilej. Novye tekhnologii, problemnye voprosy, perspektivy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 3. S. 47–54.
5. Ustanovki dozirovaniya penoobrazovatelya «AUDP-100» i «AUDP-150». Rukovodstvo po montazhu i ekspluatsii KSHIN.063838.001RE. N. Novgorod: AO «Transneft'-Verhnyaya Volga», 2013.