

УДК 614.84:614.846.6

DOI 10.48612/ntp/z54n-u1ua-vkaz

АНАЛИЗ ПАРКА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ И МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЕЁ БОЕВОЙ ГОТОВНОСТИ

А. П. ГУБАНОВ, А. Г. БУБНОВ, А. Д. СЕМЕНОВ, И. В. САРАЕВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: Gubanoff99@ya.ru, bubag@mai.ru, sad8_3@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru

В статье рассмотрены ключевые факторы, определяющие эффективность восстановления боевой готовности пожарных подразделений. На основе анализа перечня техники и опроса личного состава пожарно-спасательных частей Главного управления МЧС России по Ивановской области изучен парк пожарных автомобилей и временные затраты на проведение операций по восстановлению боевой готовности подразделений. Установлено, что 78,5 % парка составляют пожарные автоцистерны, при этом 46,3 % машин имеют срок службы более 20 лет. Методами описательной статистики выявлено, что наиболее трудоёмким этапом является заполнение пенобака (среднее время 24,6 мин, что в 3,2 раза превышает время заправки цистерны). Приведены некоторые физико-химические причины пенообразования жидкости при наиболее распространенном способе заправки. Дан обзор зарубежных технических решений. Сформулированы перспективные направления автоматизации заправки пенобаков.

Ключевые слова: восстановление боевой готовности, пенообразователь, пожарная техника, пенобак, вспенивание, ламинарный поток.

ANALYSIS OF THE FIRE EQUIPMENT PARK IN THE IVANOV REGION AND METHODS FOR RESTORING ITS COMBAT READINESS

A. P. GUBANOV, A. G. BUBNOV, A. D. SEMENOV, I. V. SARAEV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: Gubanoff99@ya.ru., bubag@mai.ru, sad8_3@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru

The article discusses the key factors that determine the effectiveness of restoring the combat readiness of fire departments. Based on an analysis of the equipment list and a survey of personnel from fire and rescue units of the Main Department of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Ivanovo Region, the article examines the fleet of fire trucks and the time required to restore the combat readiness of the department. It was found that 78.5 % of the fleet consists of fire trucks, and 46,3 % of the vehicles have a service life of more than 20 years. Using descriptive statistics, it was found that the most time-consuming step is filling the foam tank (the average time is 24.6 minutes, which is 3.2 times longer than filling the tank). Some physico-chemical causes of liquid foaming during the most common filling method are presented. An overview of foreign technical solutions is provided. Promising directions for automating the filling of foam tanks are formulated.

Keywords: restoration of combat readiness, foaming agent, fire equipment, foam tank, foaming, laminar flow.

Введение

Успешность тушения пожара во многом определяется чётким и грамотным выполнением этапов тушения пожара [1–3]. Вместе с тем основополагающим фактором, обеспечивающим саму возможность эффективных дейст-

вий по ликвидации горения, является процесс восстановления боевой готовности подразделения после возвращения в пожарно-спасательное подразделение (ПСП). Этот этап включает в себя комплекс мероприятий по восстановлению работоспособности пожарной техники и обо-

рудования, пополнению запасов огнетушащих веществ в емкостях, а также подготовку личного состава к дальнейшему выполнению оперативных задач. Именно техническая готовность пожарных автомобилей в решающей степени определяет успешность и эффективность тушения, снижая возможные величины ущерба [4,5]. Ошибки или задержки на стадии восстановления могут привести к снижению значений показателей тактических возможностей подразделения и росту потерь от пожара.

В рамках данного исследования была выдвинута гипотеза о том, что технология и последовательность действий заполнения пенобака пожарного автомобиля оказывают значительное влияние на временные показатели восстановления боевой готовности ПСП Ивановского территориального пожарно-спасательного гарнизона.

В связи с этим, цель работы заключается в комплексном анализе факторов, определяющих эффективность восстановления боевой готовности ПСП, и обоснование направлений сокращения времени заправки пенобаков отечественных пожарных автомобилей, находящихся в боевом расчёте Ивановского территориального пожарно-спасательного гарнизона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести анализ структуры и сроков реальной эксплуатации пожарных автомобилей Ивановского территориального пожарно-спасательного гарнизона;
- 2) выявить мероприятие, лимитирующее время восстановления боевой готовности пожарных автомобилей, характеризующееся наибольшими временными затратами;
- 3) проанализировать возможные физико-химические причины вспенивания при общепринятом способе заполнения пенобака пожарных автомобилей;
- 4) проанализировать отечественные и зарубежные технические решения, направленные на снижение пенообразования при заполнении пенобака пожарных автомобилей;
- 5) сформулировать перспективное направление автоматизации заправки пенобаков для ПСП, эксплуатирующих технику различного возраста.

Таким образом можно выделить научную новизну исследования, которая состоит в том, что впервые на региональном уровне (Ивановская область) проведено комплексное количественное обобщение данных о структуре парка пожарных автомобилей, сроках его эксплуатации, временных затратах на восстановление боевой готовности и гидродинамических условиях заполнения пенобаков пожарных автомобилей. Отметим, что ранее подобные

исследования в доступной литературе не публиковались более 30 лет (глубина литературного обзора). В отличие от предыдущих работ авторов [2, 5], где рассматривались отдельные технические решения, в настоящей статье выполнена систематизация факторов, лимитирующих процесс восстановления, и дано расчётное обоснование ламинарного режима подачи пенообразователя с учётом реальных реологических свойств концентрата.

Материалы и методы

Представленные в статье результаты получены в ходе выполнения научно-исследовательской работы по плану Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. В рамках исследования был проведён опрос личного состава подразделений Главного управления МЧС России по Ивановской области. Опрос проведён в форме структурированной анкеты, заполнявшейся начальниками караулов (или лицами, их замещающими) 24 пожарно-спасательных частей. Для оценки содержательной валидности анкеты применялась техника когнитивного тестирования, описанная в работе Ионов М.В. [6]. Анкета была разработана на основе анализа литературных источников и обсуждения проектов анкет с 20 опытными сотрудниками (стаж не менее 10 лет), что обеспечило её содержательную валидность. Все 96 анкет (по 4 из каждого караула 24 ПСП) были возвращены (возврат 100 %), таким образом, общее число респондентов составило 96 человек из 24 ПСП. Стаж работы респондентов в занимаемой должности составил не менее трёх лет. Указывались тип пожарного автомобиля, объём пенобака (стандартно 200–400 л, в зависимости от модели автоцистерны АЦ), способ заполнения пенобака и оценки временных затрат на каждую операцию восстановления боевой готовности пожарного автомобиля, основанные на личном опыте опрашиваемых. Период, за который обобщались сведения – 2025 календарный год.

Формирование массива полученных данных было выполнено на основе перечня пожарной техники территориального пожарно-спасательного гарнизона. Определено абсолютное количество пожарных автомобилей каждого вида, вычислена их доля (в процентах) от общего числа единиц (121 ед.). Возрастная структура оценена путём выделения машин, выпущенных до 2003 года включительно, что на момент проведения исследования соответствовало сроку службы более 20 лет.

Статистическая обработка результатов опроса проводилась в программе MS Excel. По каждому из количественных показателей

восстановления боевой готовности рассчитывались:

- среднее арифметическое время выполнения;
- минимальное и максимальное значения;
- размах вариации;
- стандартное отклонение (σ);
- медиана (Me);
- математическое ожидание задействованного личного состава.

Вопрос о количестве участников мероприятия по восстановлению боеготовности предполагал указание конкретной цифры или текстового ответа. Для показателей, по которым были получены нечисловые значения, записи исключались из количественного расчёта времени и численности.

В итоговую таблицу включались только результаты, поддающиеся численной обработке. Для каждого показателя был указан фактический объём выборки n (количество подразделений, предоставивших числовые данные) – см. табл. 2. Для показателей, имеющих временные оценки в сутках (сушка рукавов, зарядка аккумуляторных батарей) пересчёт в минуты не производился, и эти показатели не вошли в сравнительный анализ временных затрат на основные операции.

Для оценки режима течения в подводящей магистрали, используемой при заполнении пенобака пенообразователем (жидкостью) через промежуточный насос, в качестве исследуемого пенообразователя был выбран ПО-6 (тип S)¹, широко применяемый в пожарных подразделениях. Был выполнен гидродинамический расчёт числа Рейнольдса (Re) [7] по формуле (1):

$$Re = \rho \cdot v \cdot d / \mu \quad (1)$$

где: ρ – плотность жидкости¹, 1000 кг/м³;

v – скорость потока жидкости, м/с;

d – внутренний диаметр трубопровода, 0,032 м;

μ – динамическая вязкость жидкости², 1 Па·с.

Скорость потока оценивали по формуле (2):

$$v = Q / (\pi \cdot d^2 / 4) \quad (2)$$

где: Q – объёмный расход жидкости, 40 л/мин (0,000667 м³/с);

Скорость потока составила 0,829 м/с, а Re примерно 26,68.

Полученное значение Re значительно ниже критического ($Re \leq 2300$), что соответствует устойчивому ламинарному режиму течения в подводящем трубопроводе [8].

Для подтверждения достоверности экспертных оценок временных затрат и сопоставления их с ранее полученными данными [2] был проведён выборочный хронометраж ключевого мероприятия – заполнение пенобака модельной ёмкости тремя способами: ручным переливом (способ 1), с использованием промежуточного насоса (способ 2) и с применением вакуумной системы (способ 3). Результаты выборочного хронометража совпали с ранее опубликованными экспериментальными данными, представленными в работе [2]. Анализ экспериментальных значений [2] показал, что время заполнения модельной ёмкости по способу 2 и способу 3 значительно меньше, чем при ручном переливе. Среднее время заполнения составило: 30 мин – способ 1, 27 с – способ 2 и 14 с – способ 3. Таким образом, полный хронометраж всех операций не проводился, поскольку экспертные оценки временных затрат, полученные в ходе анкетирования, согласуются с экспериментальными данными [2].

Основная часть

Полученные данные по распределению пожарной техники по видам и возрастным группам приведены в табл. 1.

Таблица 1. Структура парка пожарных автомобилей

Вид пожарного автомобиля	Количество, ед.	Доля в общем парке, %	Из них выпущено до 2003 г. (старше 20 лет)
Автоцистерны (АЦ)	95	78,5	41
Специальные (АЛ, АКП, АР, АСО, АШ и др.)	21	17,4	12
Прочие основные (ПНС, АНР, АП, ААТ)	5	4,1	3
Всего	121	100,0	56 (46,3 %)

¹ГОСТ Р 50588-2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

Как видно из табл. 1, абсолютное большинство автомобилей (78,5 %) составляют пожарные АЦ, что подтверждает их универсальность и ключевую роль в оперативной деятельности [8]. При этом 46,3 % всего парка эксплуатируется более 20 лет, а для АЦ эта доля достигает 43,2 % (41 из 95).

Основными технологическими компонентами в АЦ являются ёмкости для огнетушащих веществ и центробежный пожарный насос. В зависимости от модификации насосы могут быть нормального, высокого давления или комбинированными. Тенденция развития пожарного автомобилестроения, соответствующая международным стандартам², направлена на автоматизацию процессов заполнения цистерн, дозирования пенообразователя и других

операций, что должно способствовать сокращению времени приведения техники в боевую готовность. При этом стоит отметить, что значительный возраст техники ограничивает возможности внедрения сложных автоматизированных систем непосредственно в конструкцию автомобиля и делает экономически целесообразной разработку относительно простых и недорогих приспособлений, которые могут быть установлены силами подразделений [9–11].

Анализ временных затрат на восстановление боевой готовности АЦ после пожара показал, что значительное время затрачивается на заполнение пенобака пожарного автомобиля (ПА): сводные результаты по наиболее значимым операциям представлены в табл. 2.

Таблица 2. Затраты времени на ключевые операции восстановления боевой готовности пожарных автомобилей

Операция	n	Среднее время, мин	Me, мин	σ , мин	Минимум, мин	Максимум, мин	Размах, мин	Количество чел. (среднее)
Заправка цистерны ПА водой	24	7,6	7	1,2	7	10	3	2, n=24
Заправка пенобака ПА пенообразователем	24	24,6	20	4,8	20	30	10	3 (2,4), n=20
Заправка ПА горюче-смазочными материалами	24	11,5	10	4,3	5	20	15	2 (1,7), n=22
Замена неисправного пожарного оборудования	22	8,5	8	2,5	5	10	5	–
Замена используемых пожарных рукавов	24	15,4	15	4,0	5	20	15	–
Мойка ПА	24	16,7	15	5,7	10	30	20	2 (1,9), n=23

Примечание: n – количество подразделений, предоставивших числовые данные. Для количества личного состава n указано отдельно в скобках, если оно отличается от общего n по операции. Нечисловые ответы исключены. Время на замену использованных пожарных рукавов учитывалось, не принимая в расчёт времени их сушки.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что заправка пенобака является лимитирующей операцией (наиболее продолжительным этапом) восстановления боевой готовности ПА. Её средняя продолжительность (24,6 мин) в 3,2 раза превышает время заправки цистерны водой (7,6 мин) и почти вдвое – время мойки автомобиля (16,7 мин). Значение Me 20 мин при максимуме 30 мин и σ не превышающем 5 мин

указывает на неоднородность применяемых методов: в 12 подразделениях 1 пожарно-спасательного отряда федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы Главного управления МЧС России по Ивановской области время заправки пенобака стабильно составляет 20 мин, тогда как во всех 11 частях 2 пожарно-спасательного отряда федеральной противопожарной службы Государ-

² NFPA 1901: Standard for Automotive Fire Apparatus. 2016 ed. Quincy, MA: NFPA, 2016. 286 p.

ственной противопожарной службы Главного управления МЧС России по Ивановской области – 30 мин. Привлечение к операции до четырёх человек ещё больше увеличивает непроизводительные трудозатраты.

Как правило, пенобак в настоящее время заполняют с помощью дополнительной переносной ёмкости (ведра) [3, 4]. Суть способа заключается в переливе пенообразователя из заводской тары или стационарной ёмкости хранения в пенобак АЦ вручную, обычно с использованием ведра. При таком способе струя пенообразователя, падая в бак, соударяется с его стенками и поверхностью уже залитой жидкости, что неизбежно приводит к её механическому перемешиванию и захвату воздуха. В результате происходит интенсивный процесс вспенивания: образующаяся пена быстро заполняет значительную часть полезного объёма пенобака, создавая ложное ощущение полной заправки. Для полноценного заполнения ёмкости личный состав ПСП вынужден дожидаться, пока пена осядет, после чего процедура заливки повторяется, иногда неоднократно. Такой способ требует значительных трудозатрат и приводит к существенному увеличению общего времени приведения автомобиля в боевую готовность [12, 13].

Анализ временных затрат на восстановление боевой готовности АЦ после пожара показал, что значительное время затрачивается на заполнение пенобака пожарного автомобиля. Причина столь выраженного вспенивания кроется в химическом составе пенообразователя. Современные синтетические и фторсинтетические пенообразователи представляют собой водные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) с добавками стабилизаторов, гликолей и ингибиторов коррозии³ [4]. Молекулы ПАВ, адсорбируясь на границе раздела «жидкость–воздух», многократно снижают поверхностное натяжение воды, что подтверждено фундаментальными исследованиями межфазных явлений [14, 15]. Фторсинтетические ПАВ, широко применяемые в рецептурах пенообразователей, демонстрируют особенно низкое поверхностное натяжение и высокую плёнкообразующую способность [16]. Именно резкое падение поверхностного натяжения облегчает захват воздуха при любом механическом воздействии – ударе струи о поверхность, падении с высоты, интенсивном перемешивании. Вовлечённый воздух дробится на пузырьки, которые немедленно стабилизируются адсорбционными слоями ПАВ, образуя устойчивую пену [13]. Детальные обзоры по

механизмам формирования и стабильности пен показывают, что решающую роль здесь играют гидродинамика вовлечения газа и способность ПАВ создавать упругие тонкие плёнки [16, 17]. Сравнительные исследования устойчивости пен на основе синтетических ПАВ также подтверждают, что такие системы способны сохранять структуру длительное время, затрудняя заполнение ёмкости [18]. Более того, работы по расклинивающему давлению в асимметричных тонких жидких плёнках объясняют молекулярные механизмы стабилизации пены даже при низком содержании ПАВ [18]. Таким образом, свободное падение струи и турбулентное перемешивание при ручном заполнении являются непосредственной причиной нежелательного пенообразования.

Для решения проблемы вспенивания в ПСП на практике всё чаще применяют промежуточный насос для заполнения пенобака [3, 12]. Данный способ обладает существенным преимуществом: с помощью стороннего насоса (погружного химического насоса или специальной заправочной станции) можно реализовать так называемое «подслойное» заполнение ёмкости. Шланг подачи пенообразователя может быть опущен на дно пенобака, и жидкость будет поступать ниже уровня уже находящейся в баке жидкости. Поскольку $Re \approx 26,68$ (соответствует устойчивому ламинарному режиму течения в подводящем трубопроводе) и при поступлении жидкости в бак отсутствует свободное падение струи, а также связанное с ним интенсивное вовлечение воздуха, это, вероятно, может позволить существенно снизить аэрацию и пенообразование.

Такой подход хорошо согласуется с гидродинамическими принципами стратификации потоков, изученными в работах по динамике межфазных границ. В развитие данного направления в работах [2–5, 12–13], уже теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность организации «подслойного» заполнения пенобаков с помощью специально разработанного заправочного устройства. Предложенная конструкция, включающая перфорированный распределительный насадок, обеспечивает ламинарный ввод пенообразователя в придонную зону бака, минимизирует механическое перемешивание с воздухом и позволяет сократить время заправки в 2–3 раза по сравнению с ручным способом. При этом стоит отметить, что собственные экспериментальные измерения эффективности упомянутого выше устройства в рамках настоящей работы не проводились (они проводились некоторыми авто-

³ ГОСТ Р 50588-2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

рами статьи ранее [2–5, 12–13, 19]), поэтому количественные оценки сокращения времени здесь базируются исключительно на литературных источниках. Вместе с тем, как использование промежуточных насосов, так и внедрение специализированных устройств требует установки дополнительного оборудования и организации его регулярного технического обслуживания [12], что в условиях ограниченного финансирования не всегда доступно для всех подразделений.

Анализ зарубежного опыта в данной области показывает, что проблема сокращения времени и исключения пенообразования при заполнении пенобаков решается конструктивно уже на этапе проектирования пожарных автомобилей. В Соединённых Штатах Америки национальный стандарт NFPA¹ предъявляет жёсткие требования к скорости заправки бортовых ёмкостей для пенообразователя. Большинство производителей пожарных АЦ оснащают их встроенными шестерёнчатыми или мембранными насосами с электроприводом, которые способны подавать пенообразователь непосредственно из внешней тары в пенобак через нижний заливной штуцер [20]. Такой способ реализует «подслойное» заполнение и существенно снижает аэрацию, а также интенсивность пенообразования при надлежащем подборе расхода, геометрии подающего устройства и условий заполнения, благодаря чему удаётся избежать нежелательного пенообразования икратно сократить время заправки пенобака. Производительность подобных насосных систем обычно составляет от 40 до 120 л/мин, что позволяет заполнить стандартный бак объёмом 200–400 л за считанные минуты [20].

В странах Европейского союза, где действуют нормы серии EN 1846^{4, 5}, также распространены автоматизированные решения. В Германии, Австрии и Швейцарии на пожарных автомобилях широко применяются встроенные пенонасосы, которые одновременно выполняют функцию дозатора в системе пеносмещения и насоса для заполнения пенобака из канистр или стационарного резервуара. Конструкция таких агрегатов позволяет организовать рециркуляцию пенообразователя и быстрое заполнение бака через придонный патрубок без разбрызгивания и аэрации [21]. В Великобритании и Франции всё чаще используются быстроразъёмные соединения (Camlock, Storz), к которым подключается внешний электрический или

пневматический насос, подающий в бак пенообразователь в режиме, близком к ламинарному [18, 20]. Исследования гидродинамики заполнения ёмкостей, опубликованные в работах Drenckhan и Saint-Jalmes [18, 20], подтверждают эффективность ламинарного подслойного ввода для предотвращения вспенивания, что положено в основу конструкции многих современных заправочных узлов.

Кроме того, некоторые производители (например, Rosenbauer⁶, Magirus) предлагают полностью автоматизированные заправочные станции для пожарных депо, которые подают пенообразователь в бак автомобиля по закрытому трубопроводу с контролем заполнения по объёму или массе [21].

Таким образом, мировая практика идёт по пути интеграции насосных агрегатов непосредственно в конструкцию автомобиля либо использования специальных заправочных постов, обеспечивающих безаэрационную подачу пенообразователя. Российским подразделениям, эксплуатирующим в том числе технику с большим сроком службы, целесообразно адаптировать эти решения, делая акцент на простых и надёжных внешних насосных модулях, и заправочных насадках, которые могут быть установлены без существенной модернизации автомобиля.

Выводы

В результате проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

1. Анализ парка пожарных автомобилей ГУ МЧС России по Ивановской области показал, что 78,5 % машин составляют АЦ, при этом 43,2 % из них эксплуатируются более 20 лет. Это делает задачу ускорения заправки пенобаков особенно актуальной для самого массового типа техники и предопределяет необходимость в относительно простых и недорогих инженерных решениях, применимых в условиях ограниченного финансирования.

2. Статистический анализ временных затрат выявил, что заправка пенобака (среднее время 24,6 мин) является самым продолжительным этапом восстановления боевой готовности, в 3,2 раза превышая заправку цистерны. Неоднородность результатов (от 20 до 30 мин) свидетельствует об отсутствии единого эффективного способа.

3. Основной причиной значительных временных затрат является интенсивное

⁴ EN 1846-1:2011. Firefighting and rescue service vehicles. Part 1: Nomenclature and designation. Brussels: CEN, 2011. 34 p.

⁵ EN 1846-2:2013. Firefighting and rescue service vehicles. Part 2: Common requirements. Safety and performance. Brussels: CEN, 2013. 48 p.

⁶ Пожарная автоцистерна АЦ-3,2-40/4(43253) модель 001-МС: Руководство по эксплуатации 001-МС-00-000-00ПЭ. М.: ЗАО «Производственное объединение «Спецтехника пожаротушения», 2011.

вспенивание пенообразователя, что обусловлено физико-химическими свойствами ПАВ и турбулентным характером падающей струи.

4. В результате анализа отечественных и зарубежных технических решений, направленных на снижение пенообразования при заполнении пенобака пожарных автомобилей определено, что применение промежуточного насоса или специальных заправочных устройств, для «подслойного» заполнения пенобака позволяет существенно снизить

аэрацию и, вероятно, интенсивность пенообразования, а также значительно сократить время заправки пенобака.

5. Перспективным направлением автоматизации заправки пенобаков пожарных автомобилей для ПСП, по-нашему мнению, является разработка заправочных устройств, обеспечивающих «подслойную» подачу пенообразователя от стационарных раздаточных колонок, адаптированных к условиям эксплуатации техники различного возраста.

Список литературы

1. Николаев Д. В., Триш А. А., Борисова М. Ю. Информационно-расчетное обеспечение принятия решений по применению сил и средств руководителем тушения // Наука, техника и образование. 2020. № 10 (74). С. 28–33. EDN: RPNLEK.

2. Семенов А. Д., Бочкарев А. Н., Кнутов М. С. Влияние способа заправки пенобака на время приведения пожарного автомобиля в готовность после пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (37). С. 143–149. EDN: XHIROK.

3. Анализ конструктивных особенностей и способов заполнения пенобака пожарного автомобиля / А. П. Губанов, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 2(55). С. 40–47. EDN MFBOBP.

4. Filling Mobile Equipment Tanks with Foaming Agent / A. D. Semenov, A. G. Bubnov, I. V. Saraev [et al.]. Russian Journal of General Chemistry, 2026, vol. 96, issue 5, pp. 1–7. DOI: 10.1134/S1070363226020027. EDN: OLFELY.

5. Сараев, И. В. Восстановление боеготовности мобильных средств пожаротушения в условиях низких температур / И. В. Сараев, А. Д. Семенов, А. Н. Бочкарев // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3 (48). С. 124–133. EDN: FZZUCW.

6. Валидация модифицированной русскоязычной версии опросника «Patient Experience Questionnaire» / М. В. Ионов, Е. А. Дубинина, Н. Э. Звартау [и др.] // Качественная клиническая практика. 2024. № 3. С. 14–25. DOI: 10.37489/2588-0519-2024-3-14-25. EDN: EYWRCE.

7. Дмитриев М. Н., Дмитриев Н. М. К определению фильтрационного числа Рейнольдса и характерного линейного размера для идеальных и фиктивных пористых сред // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2005. № 4. С. 97–104. EDN: HTXSON.

8. Определение коэффициентов местных сопротивлений пресс-фитингов в лами-

нарном и переходном режимах течения жидкости / Г. Ф. Нигматуллина, Б. Р. Азизов, Е. В. Варсегова [и др.] // Строительные конструкции, здания и сооружения. 2023. № 2 (3). С. 18–26. EDN: TVLMPE.

9. Логинов В. И., Навценя Н. В., Яковенко К. Ю. Концепция развития пожарно-спасательной техники на период до 2030 года // Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 85–91. EDN: YZZZLN.

10. Игошина Д. А., Игошин Д. Н., Смирнов Н. А. Анализ существующих насосных установок для подачи жидкости // Вестник НГИЭИ. 2014. № 6 (37). С. 59–66. EDN: SUDQEX.

11. Байбиков А. С. Перспективы совершенствования центробежных насосов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2022. № 6 (747). С. 45–51. DOI: 10.18698/0536-1044-2022-6-45-51. EDN: KNFNMP.

12. Губанов А. П., Бубнов А. Г., Семенов А. Д. Анализ существующих методов заполнения пенобака пожарного автомобиля // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. С. 340–345. EDN YGHONQ.

13. Семенов А. Д., Сараев И. В., Бубнов А. Г. О возможности заправки пенобака пожарного автомобиля с использованием стационарного вакуумного насоса // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 100–106. EDN: SWOBVU.

14. Miller C.A., Neogi P. Interfacial Phenomena: Equilibrium and Dynamic Effects. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. 504 p.

15. Rosen M. J., Kunjappu J. T. Surfactants and Interfacial Phenomena. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 616 p.

16. Comparative performance of fluorine-free and fluorinated firefighting foams: a review / D. A. Riehm, C. W. Edwards, K. M. Purser [et al.]. Fire Technology, 2021, vol. 57, pp. 2345–2372.

17. Simulation of the process of filling a foam concentrate tank with a submerged jet / V. N. Kovalnogov, R. V. Fedorov, A. V. Chuklin [et al.]. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2023, vol. 96, issue 4, pp. 1027–1034.

18. Drenckhan W., Saint-Jalmes A. The science of foaming. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2015, vol. 222, pp. 228–259.

19. Патент на полезную модель № 233850 U1 Российская Федерация МПК А 62 С 27/00. Емкость для транспортировки и хранения пенообразователя пожарного автомобиля / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, А. С. Федорин [и др.]; опубл. 07.05.2025; Бюл. № 13. EDN: ZHMCYA.

20. Differences between protein and surfactant foams: microscopic properties and stability / A. Saint-Jalmes, M.-L. Peugeot, H. Ferraz [et al.]. *Langmuir*, 2005, vol. 21, issue 10, pp. 4386–4391.

21. Печурин А. А., Преснов А. И., Маркова Н. Б. Анализ систем дозирования пенообразователя в насосных агрегатах пожарных автомобилей: состояние, проблемы, технические решения // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2023. № 3(67). С. 106–119. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-106-119. EDN: AJJ-EEE.

References

1. Nikolaev D. V., Trish A. A., Borisova M. Yu. Informatsionno-raschetnoe obespechenie prinyatiya resheniy po primeneniyu sil i sredstv rukovoditelem tusheniya pozharov [Information and calculation support for decision-making regarding the use of forces and resources by the fire-fighting commander]. *Nauka, tekhnika i obrazovanie*, 2020, vol. 10 (74), pp. 28–33. EDN: RPNLEK.

2. Semenov A. D., Bochkarev A. N., Knutov M. S. Vliyanie sposoba zapravki penobaka na vremya privedeniya pozharnogo avtomobilya v gotovnost' posle pozhara [The influence of the method of refueling the foam tank on the time required to bring a fire truck into operation after a fire]. *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2020, vol. 4 (37), pp. 143–149. EDN: XHIROK.

3. Analiz konstruktivnykh osobennostey i sposobov zapolneniya penobaka pozharnogo avtomobilya [Analysis of the design features and methods of filling the foam tank of a fire truck] / A. P. Gubanov, A. G. Bubnov, A. D. Semenov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2025, vol. 2 (55), pp. 40–47. EDN: MFBOBP.

4. Filling Mobile Equipment Tanks with Foaming Agent / A. D. Semenov, A. G. Bubnov, I. V. Saraev [et al.]. *Russian Journal of General*

Chemistry, 2026, vol. 96, issue 5, pp. 1–7. DOI: 10.1134/S1070363226020027. EDN: OLFELY.

5. Saraev I. V., Semenov A. D., Bochkarev A. N. Vosstanovlenie boegotovnosti mobil'nykh sredstv pozharotusheniya v usloviyakh nizkikh temperatur [Restoration of the combat readiness of mobile fire-fighting equipment under low-temperature conditions]. *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 124–133. EDN: FZZUCW.

6. Validatsiya modifitsirovannoy russko-yazychnoy versii oprosnika «Patient Experience Questionnaire» [Validation of the modified Russian-language version of the “Patient Experience Questionnaire”] / M. V. Ionov, E. A. Dubinina, N. E. Zvartau [et al.]. *Kachestvennaya klinicheskaya praktika*, 2024, issue 3, pp. 14–25. DOI: 10.37489/2588-0519-2024-3-14-25. EDN: EYWRCE.

7. Dmitriev M. N., Dmitriev N. M. K opredeleniyu fil'tratsionnogo chisla Reynoldsa i kharakternogo lineynogo razmera dlya ideal'nykh i fiktivnykh poristyykh sred [On the determination of the filtration Reynolds number and the characteristic linear dimension for ideal and fictitious porous media]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Mekhanika zhidkosti i gaza*, 2005, issue 4, pp. 97–104. EDN: HTXSON.

8. Opredelenie koeffitsientov mestnykh soprotivleniy press-fittingov v laminarnom i perekhodnom rezhimakh techeniya zhidkosti [Determination of local resistance coefficients of press fittings in laminar and transitional fluid flow regimes] / G. F. Nigmatullina, B. R. Azizov, E. V. Varsegova [et al.]. *Stroitel'nye konstruksii, zdaniya i sooruzheniya*, 2023, vol. 2 (3), pp. 18–26. EDN: TVLMPE.

9. Loginov V. I., Navtsenya N. V., Yakovenko K. Yu. Kontseptsiya razvitiya pozharno-spasatel'noy tekhniki na period do 2030 goda [The concept of development of fire and rescue equipment for the period up to 2030]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2019, issue 1, pp. 85–91. EDN: YZZZLN.

10. Igoshina D. A., Igoshin D. N., Smirnov N. A. Analiz sushchestvuyushchikh nasosnykh ustanovok dlya podachi zhidkosti [Analysis of Existing Pumping Systems for Fluid Supply]. *Vestnik NGIEI*, 2014, vol. 6 (37), pp. 59–66. EDN: SUDQEX.

11. Baibikov A. S. Perspektivy sovershenstvovaniya tsentrobezhnykh nasosov [Prospects for Improving Centrifugal Pumps]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*, 2022, vol. 6 (747), pp. 45–51. DOI: 10.18698/0536-1044-2022-6-45-51. EDN: KNFNMP.

12. Gubanov A. P., Bubnov A. G., Semenov A. D. Analiz sushchestvuyushchikh metodov zapolneniya penobaka pozharnogo

avtomobilya [Analysis of existing methods for filling the foam tank of a fire truck]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 375-letiyu pozharnoy okhrany Rossii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharnospasatel'naya akademiya Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS RF, 2024, pp. 340–345. EDN: YGHONQ.

13. Semenov A. D., Saraev I. V., Bubnov A. G. O vozmozhnosti zapravki penobaka pozharnogo avtomobilya s ispol'zovaniem statsionarnogo vakuumnogo nasosa [On the possibility of refilling the foam tank of a fire truck using a stationary vacuum pump] // *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2022, vol. 2 (43), pp. 100–106. EDN: SWOBVU.

14. Miller C.A., Neogi P. Interfacial Phenomena: Equilibrium and Dynamic Effects. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. 504 p.

15. Rosen M. J., Kunjappu J. T. Surfactants and Interfacial Phenomena. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 616 p.

16. Comparative performance of fluorine-free and fluorinated firefighting foams: a review / D. A. Riehm, C. W. Edwards, K. M. Purser [et al.]. *Fire Technology*, 2021, vol. 57, pp. 2345–2372.

17. Simulation of the process of filling a foam concentrate tank with a submerged jet / V. N.

Kovalnogov, R. V. Fedorov, A. V. Chuklin [et al.]. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2023, vol. 96, issue 4, pp. 1027–1034.

18. Drenckhan W., Saint-Jalmes A. The science of foaming. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2015, vol. 222, pp. 228–259.

19. Emkost' dlya transportirovki i khraneniya penoobrazovatelya pozharnogo avtomobilya [Container for transporting and storing fire vehicle foam concentrate] / I. A. Maly, I. Yu. Sharabanova, A. S. Fedorinov [et al.]. Patent na poleznuyu model' № 233850 Rossiyskaya Federatsiya IPC U1 A 62 C 27/00, opubl. 07.05.2025, Byul. № 13. EDN: ZHMCYA.

20. Differences between protein and surfactant foams: microscopic properties and stability / A. Saint-Jalmes, M.-L. Peugeot, H. Ferraz [et al.]. *Langmuir*, 2005, vol. 21, issue 10, pp. 4386–4391.

21. Pechurin A. A., Presnov A. I., Markova N. B. Analiz sistem dozirovaniya penoobrazovatelya v nasosnykh agregatakh pozharnykh avtomobiley: sostoyanie, problemy, tekhnicheskie resheniya [Analysis of foam concentrate dosing systems in pump units of fire trucks: state of the art, problems, technical solutions]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2023, vol. 3 (67), pp. 106–119. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-106-119. EDN: AJJEEE.

Губанов Антон Павлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
адъюнкт очной формы обучения адъюнктуры
E-mail: Gubanoff99@ya.ru

Gubanov Anton Pavlovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
adjunct of post-graduate courses
E-mail: Gubanoff99@ya.ru

Бубнов Андрей Германович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор химических наук, доцент
E-mail: bubag@mail.ru

Bubnov Andrey Germanovitch

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
doctor of chemical sciences, associate professor
E-mail: bubag@mail.ru

Семенов Андрей Дмитриевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук

E-mail: sad8_3@mail.ru,

Semenov Andrey Dmitrievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: sad8_3@mail.ru.

Сараев Иван Витальевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Saraev Ivan Vitalevitch

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: saraev-i-v@mail.ru