

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2021. Т. 30. № 6. С. 97–107

POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2021; 30(6):97-107

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ СТАТЬЯ / SCIENTIFIC AND THEORETICAL PAPER

УДК 630.431, 614.85, 614.882, 614.846.6.97–107

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2021.30.06.97-107>

## Об обеспечении безопасного следования автомобиля экстренной службы в сложных дорожных условиях

Игорь Геннадьевич Малыгин<sup>1,2</sup>, Александр Алексеевич Таранцев<sup>1,2</sup>✉<sup>1</sup> Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Санкт-Петербург, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Обоснована актуальность исследования, вызванная необходимостью безопасного и своевременного прибытия автомобиля экстренной службы (пожарные, полиция, медики, газовая служба) к месту вызова в условиях плохой видимости на дороге — задымления, тумана, снегопада, в ночное время при отсутствии освещенности.

**Обеспечение безопасного движения в условиях плохой видимости.** При задымлении дорожной сети и снижении видимости из-за ландшафтных пожаров безопасное следование обеспечивается созданием избыточного давления воздуха в салоне и применением тепловизора водителем. При следовании автомобиля в условиях тумана, снегопада или отсутствия освещенности также может применяться тепловизор. Приведен газодинамический расчет для подпора воздуха в салоне и соответствующие схемы. Сделана газодинамическая оценка расхода подаваемого воздуха при неполной герметичности кабины с учетом находящегося в ней экипажа.

**Движение автомобиля при подтоплении и повреждении дороги.** Приведена конструктивно-компоновочная схема автомобиля экстренной службы, предназначенного для движения по подтопленной местности и при поврежденном дорожном полотне.

**Выводы.** Новизна и целесообразность вышеописанных технических решений подкреплена патентами РФ. Внедрение их позволит экстренным службам безопасно прибывать к месту вызова вне зависимости от сложности дорожных условий.

**Ключевые слова:** задымление; плохая видимость; тепловизор; подпор воздуха; подтопление дороги; своевременность прибытия автомобиля

**Для цитирования:** Малыгин И.Г., Таранцев А.А. Об обеспечении безопасного следования автомобиля экстренной службы в сложных дорожных условиях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 6. С. 97–107. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.97-107

✉ Таранцев Александр Алексеевич, e-mail: t\_\_54@mail.ru

## On ensuring the safe movement of emergency service vehicles under hazardous driving conditions

Igor G. Malygin<sup>1,2</sup>, Alexander A. Tarantsev<sup>1,2</sup>✉<sup>1</sup> Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation<sup>2</sup> Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Saint Petersburg, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The relevance of the study is substantiated by the need for a safe and timely arrival of an emergency service vehicle (firefighters, police, paramedics, gas service teams) to the place of call under the conditions of poor road visibility due to smoke, fog, snowfalls, the night time in the absence of illumination.

**Ensuring safe movement under the conditions of poor visibility.** In case of smoke and insufficient visibility due to wildfires, safe movement is possible, if the air pressure in the cabin is excessive and the driver uses a thermal imager by. When a car is driven under the conditions of fog, a snowfall or the lack of illumination, a thermal imager can also be used. The gas-dynamic analysis of air supply to the cabin and its schemes are provided. The co-authors made a gas-dynamic assessment of the air flow rate if the cabin is not hermetically sealed and the crew stay inside.

**The car movement in case of floods and damaged roads.** The structural layout diagram of an emergency service vehicle designed to move through flooded areas and along damaged roadbeds is provided.

**Conclusions.** The novelty and expediency of the above technical solutions are confirmed by the RF patents. Their implementation will allow emergency services to arrive safely to the place of call, regardless of the road conditions.

**Keywords:** smoke; poor visibility; thermal imager; air pumping; road flood; timeliness of the vehicle arrival

**For citation:** Malygin I.G., Tarantsev A.A. On ensuring the safe movement of emergency service vehicles under hazardous driving conditions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(6):97-107. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.97-107 (rus).

✉ Alexander Alexeevich Tarantsev, e-mail: t\_\_54@mail.ru

## Введение

Быстрое и безопасное прибытие автомобиля экстренной службы (пожарного, полицейского, скорой медицинской помощи, газовой службы)<sup>1</sup> к месту вызова является важным условием успешного решения задачи — тушения пожара<sup>2, 3, 4</sup> [1–6], задержания нарушителей правопорядка<sup>5, 6, 7</sup> (требования к отечественным оперативно-служебным автомобилям изложены в ГОСТ 34600–2019<sup>8</sup>), оказания помощи пострадавшим<sup>9, 10, 11</sup> (требования к отечественным автомобилям скорой медицинской помощи изложены в ГОСТ 33655–2015<sup>12</sup>), устранения аварийной утечки газа<sup>13, 14</sup> [6] и т.п.

В то же время, многочисленные ландшафтные пожары, случающиеся практически каждое лето,

приводят к задымленности больших территорий, в том числе дорожной сети (рис. 1, а). Надо отметить, что проблеме лесных пожаров посвящено достаточно много научных работ, например, [7–18], обзорных статей<sup>15</sup>, а также диссертаций [19–22].

Движение автомобилей в условиях задымления [23] приводит к риску ДТП. Дополнительную угрозу представляют подземные (торфяные) пожары [2], в результате которых возникают прогары под дорожной сетью, что сопровождается риском провалов в них автомобилей. Это приводит к необходимости блокировать автомобильное движение в таких районах и рекомендовать водителям двигаться по объездным маршрутам.

Весьма непростая ситуация возникает для вышеуказанных экстренных служб, подразделения которых получают приказ (распоряжение) на выезд, но дорога к месту вызова заблокирована дымом (см. рис. 1, а) или видимость снижена туманом (рис. 1, б), снегопадом (рис. 1, в), или отсутствует освещение в темное время суток (рис. 1, д). Движение в таких условиях чревато риском ДТП, опасностью для экипажей и техники этих подразделений и даже срывом выполнения задачи. При этом следует иметь в виду, что мобильные подразделения экстренных служб имеют жесткие временные нормативы прибытия к месту вызова (например, определенные в Федеральном законе ФЗ-123<sup>16</sup>) (рис. 2).

Такая ситуация приводит к необходимости изыскания возможностей обеспечения прибытия оперативных подразделений экстренных служб к месту вызова по задымленной местности и в условиях плохой видимости при условии обеспечения безопасности их экипажей, что и является **целью статьи**. **Задача статьи** — рассмотрение и обоснование инновационных схем автомобилей экстренных служб, способных безопасно следовать к месту вызова в сложных дорожных условиях, в том числе из-за задымления при ландшафтных пожарах.

## Обеспечение безопасного движения в условиях плохой видимости

Для достижения вышеуказанной цели и решения поставленной задачи специалистами ИПТ РАН была предложена усовершенствованная конструк-

<sup>1</sup> Об утверждении требований к транспортным средствам оперативных служб, используемым для осуществления неотложных действий по защите жизни и здоровья граждан : Постановление Правительства Российской Федерации № 548 от 30 августа 2007 г.

<sup>2</sup> Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : утвержден приказом МЧС от 16 октября 2017 г. № 444 ; зарегистрирован в Минюсте РФ 20 февраля 2018 г., рег. № 50100.

<sup>3</sup> Пожарная техника. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/tehnika/pozharnaya-tehnika>

<sup>4</sup> Зарубежные пожарные автомобили. Виды пожарных автомобилей. URL: [https://справка01.pf/articles/technics/zarubezhnye\\_pozharnye\\_avtomobili](https://справка01.pf/articles/technics/zarubezhnye_pozharnye_avtomobili)

<sup>5</sup> О полиции : Федеральный закон от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ.

<sup>6</sup> Полицейские машины России. URL: <https://avto-forum.name/threads/policejskie-mashiny-rossii-na-chem-ezdjat-strazhi-porjadka.3738/> (дата обращения: 31.10.2021).

<sup>7</sup> Полицейские автомобили разных стран. URL: [https://zen.yandex.ru/media/auto\\_scepa/policejskie-avtomobili-raznyh-stran-5b83aead1e0fde00a78c1a72](https://zen.yandex.ru/media/auto_scepa/policejskie-avtomobili-raznyh-stran-5b83aead1e0fde00a78c1a72)

<sup>8</sup> ГОСТ 34600-2019. Автомобили оперативно-служебные для патрулирования и выезда на места происшествий нарядов дежурных частей органов охраны правопорядка.

<sup>9</sup> Правила организации деятельности мобильной медицинской бригады : утверждены приказом Минздрава РФ от 27 марта 2019 г. № 164н.

<sup>10</sup> Модельный ряд Lada. Медслужбы 2020. URL: <https://promtehn.ru/press-tsentr/novosti/modelnyy-ryad-lada-medsluzhby-2020>

<sup>11</sup> Автомобили специального медицинского назначения. URL: [https://epm-med.ru/work/avto\\_spec\\_med\\_naz/](https://epm-med.ru/work/avto_spec_med_naz/) (дата обращения: 31.10.2021).

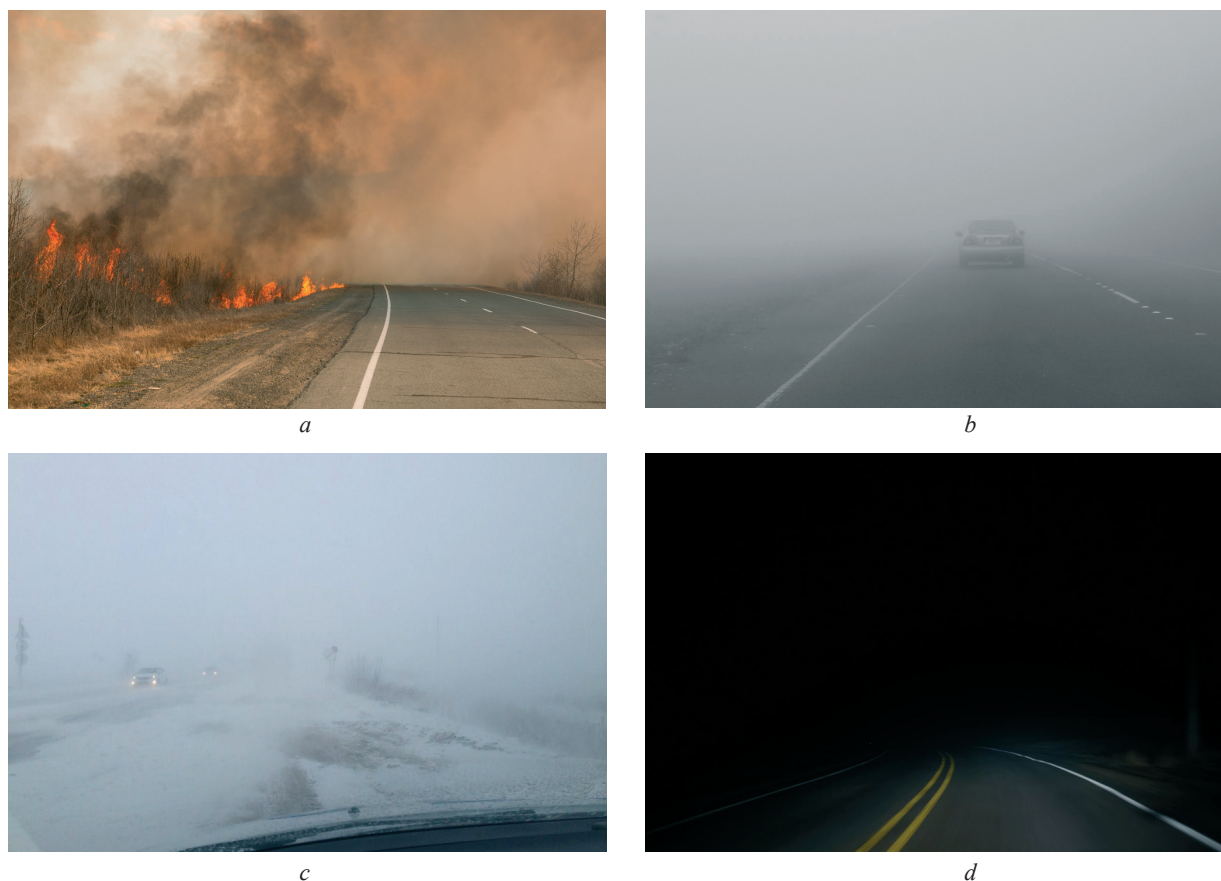
<sup>12</sup> ГОСТ 33655-2015. Автомобили скорой медицинской помощи. Технические требования и методы испытаний.

<sup>13</sup> О газоснабжении в Российской Федерации : Федеральный закон № 69-ФЗ от 31 марта 1999 г. (с изменениями).

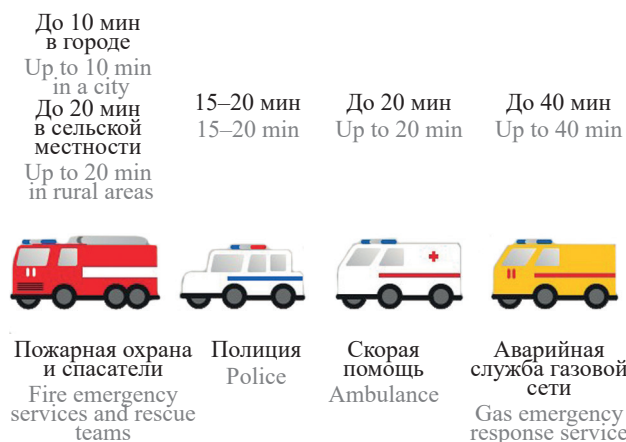
<sup>14</sup> Автомобили службы 04 «Горгаз». URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5e4077902514b579c924d2dd/avtomobili-slujby-04-gorgaz-601bc384c5e0377269c24ea9>.

<sup>15</sup> Не только Австралия: 8 великих лесных пожаров XXI века. URL: <https://realty.rbc.ru/news/5e499e729a7947d8fed190b>

<sup>16</sup> Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г. (с изменениями).



**Рис. 1.** Снижение видимости на дороге: *a* — задымление при лесном пожаре; *b* — туман; *c* — снегопад; *d* — темное время суток  
**Fig. 1.** Cases of reduced road visibility: *a* — smoke caused by wildfires; *b* — fog; *c* — snowfall; *d* — nighttime darkness



**Рис. 2.** Нормативы времени прибытия оперативных подразделений экстренных служб  
**Fig. 2.** Standards of the time to arrival for emergency service vehicles

ция автомобиля экстренной службы. Сущность предложения [3] заключается в том, что место водителя в салоне (кабине) автомобиля снабжено тепловизором, а в салоне размещен баллон с воздухом и устройством его регулируемой подачи (рис. 3) для создания подпора воздуха.

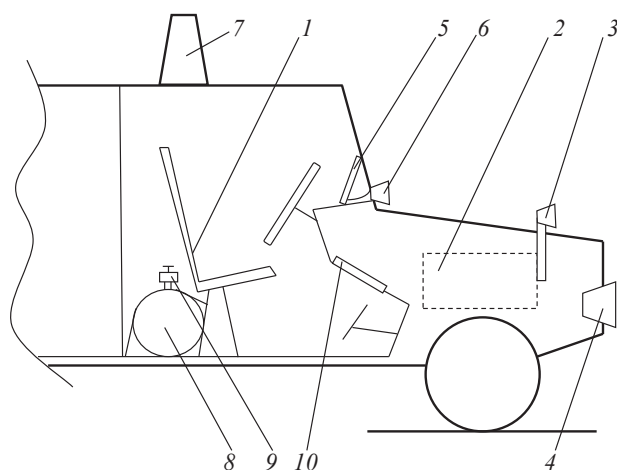
В нормальных дорожных условиях такой автомобиль движется, как и все автомобили соответ-

ствующих экстренных служб — водитель находится на сиденье 1 и управляет движением, двигатель 2 обеспечивается воздухом через воздухозаборник 3, который снабжен сеткой для исключения попадания искр в воздушный фильтр двигателя. Маячок 7 включается по необходимости, фары 4 — в ночное время или при тумане.

При необходимости двигаться в условиях задымления при пожаре (см. рис. 1, *a*) возникают риски: отравления водителя и членов экипажа продуктами горения; возникновения ДТП из-за ограниченной видимости; возгорания автомобиля при попадании искр в воздухозаборник 3 (см. рис. 3). Чтобы избежать этих рисков, в салоне автомобиля создается подпор воздуха  $\Delta p = p_c - p_a$  ( $p_c$ ,  $p_a$  — давление воздуха в салоне и атмосферное соответственно) подачей его из баллона 8 открытием вентиля 9. При этом экипаж сохраняет работоспособность, дыша чистым воздухом, часть воздуха стравливается через неплотности салона или специальный клапан в атмосферу либо через открытую заслонку 10 подается к двигателю 2 после закрытия клапана воздухозаборника 3.

Водитель на мониторе 5 тепловизора (см. рис. 3) может видеть встречные (рис. 4, *a*) или попутные (рис. 4, *b*) транспортные средства, людей (рис. 4, *c*) и животных, строения (рис. 4, *d*), а также тепловое





**Рис. 3.** Вид передней части автомобиля с двигателем [3]: 1 — место водителя; 2 — двигатель; 3 — воздухозаборник с клапаном; 4 — фары; 5 — экран тепловизора; 6, 7 — проблесковый маячок; 8 — баллон с воздухом; 9 — вентиль с редуктором; 10 — заслонка

**Fig. 3.** The view of the vehicle front and the engine [3]: 1 — the driver's seat; 2 — the engine; 3 — the air intake with a valve; 4 — headlights; 5 — the screen of the thermal imager; 6, 7 — the flashing light; 8 — the air cylinder; 9 — the valve with a reducer; 10 — the damper

поле дороги перед автомобилем, благодаря чему способен избежать попадания в прогары при подземных пожарах [2].

Представляется целесообразным дать некоторые количественные оценки. Согласно [4], истечение воздуха с расходом  $G$  из салона под действием избыточного давления  $\Delta p$  (очевидно, воздух таким же расходом  $G$  будет подаваться из баллона 8 (см. рис. 3)) будет либо докритическим, либо закритическим.

Взяв за основу расчетную схему на рис. 5, расход  $G$  воздуха из салона можно оценить по выражению [4]:

$$G = \mu F p_c \sqrt{\frac{k}{R_b T_c}} f(k, p_a, p_c), \quad (1)$$

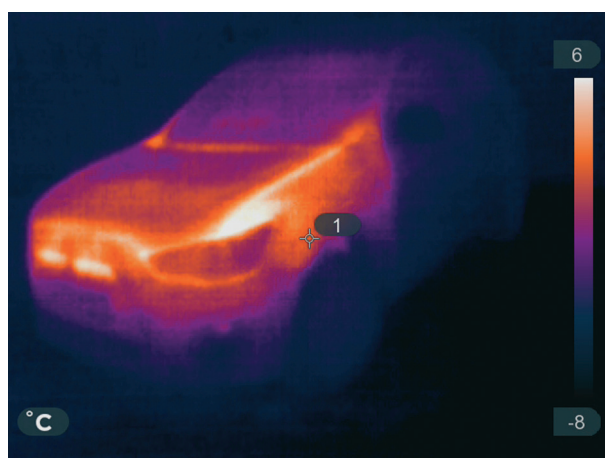
где  $\mu$  — коэффициент истечения ( $\mu \approx 0,7 \dots 0,8$ );

$F$  — площадь истечения воздуха из салона,  $\text{м}^2$ ;

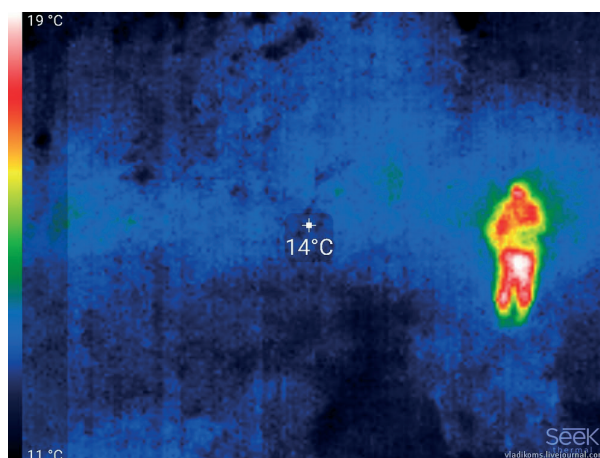
$k \approx 1,4$  — показатель адиабаты воздуха;

$R_b = 287,1 \text{ Дж}(\text{кг} \cdot \text{К})^{-1}$  — газовая постоянная для воздуха;

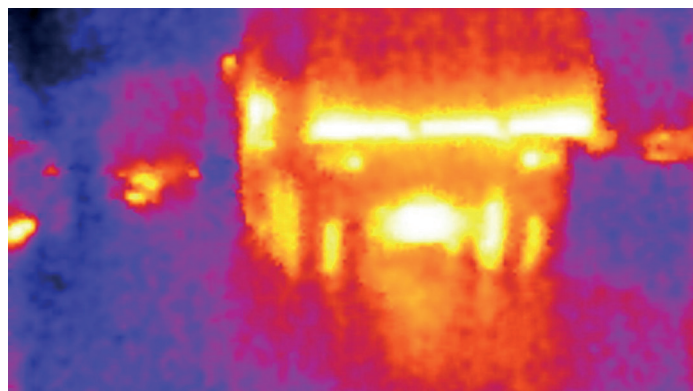
$T_c$  — температура воздуха в салоне,  $\text{К}$ ;



*a*



*b*



*c*



*d*

**Рис. 4.** Применение тепловизора для обеспечения безопасного движения автомобиля в условиях плохой видимости путем получения изображений: *a* — встречного автомобиля; *b* — попутного автомобиля; *c* — пешехода на дороге; *d* — теплотрассы

$f(k, p_a, p_c)$  — функция, зависящая от характера истечения:

$$f(k, p_a, p_c) = \begin{cases} \left(\frac{p_a}{p_c}\right)^{1/k} \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_c}\right)^{(k-1)/k}\right]} & \text{при } 1 < \frac{p_c}{p_a} < \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}}, \\ \left(\frac{2}{k+1}\right)^{0,5(k+1)/(k-1)} & \text{при } \frac{p_c}{p_a} \geq \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}}. \end{cases} \quad (2)$$

Верхняя часть выражения (2) соответствует докритическому истечению воздуха из салона, нижняя часть — закритическому истечению.

Для наглядности зависимость удельного расхода газа  $G(R_s T_c)^{0,5} (\mu F p_c)^{-1}$  от отношения давлений  $p_c/p_a$  приведена на рис. 6.

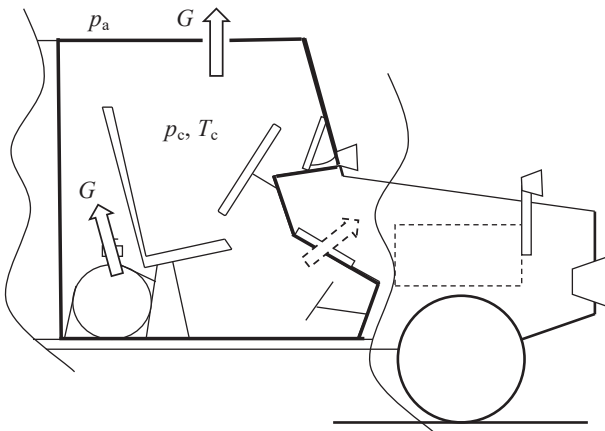


Рис. 5. Расчетная схема газового баланса (пунктирная стрелка — перепуск воздуха к двигателю 2 через заслонку 10 (см. рис. 3))

Fig. 5. The gas balance diagram (the dotted arrow shows the air rerouted towards the engine through damper 10 (see Fig. 3))

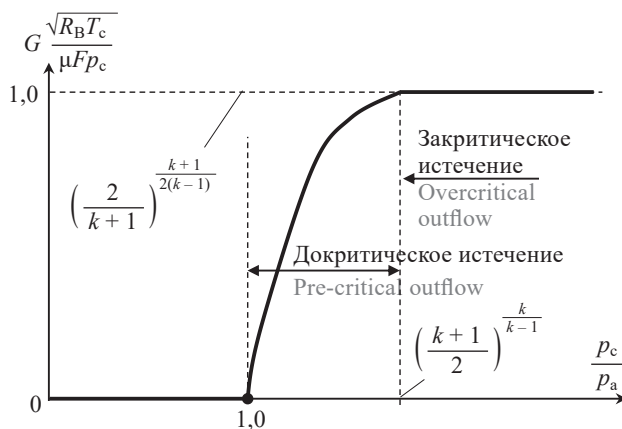


Рис. 6. Зависимость удельного расхода истекающего газа от соотношения давлений  $p_c/p_a$  и характера истечения (в случае воздуха, когда  $k = 1,4$ , для закритического истечения —  $G(R_s T_c)^{0,5} (\mu F p_c)^{-1} \approx 0,579$  при  $p_c/p_a > 1,893$ )

Fig. 6. Dependence between the unit rate of outflowing gas, the correlation of pressures  $p_c/p_a$  and the outflow type (in case of air, when  $k = 1,4$ , for overcritical outflow  $G(R_s T_c)^{0,5} (\mu F p_c)^{-1} \approx 0,579$  at  $p_c/p_a > 1,893$ )

Очевидно, для салона автомобиля будет иметь место докритическое истечение воздуха, когда  $p_c/p_a < 1,893$ . Зависимость на рис. 6 справедлива и для истечения газа из баллона в салон, только на горизонтальной оси будет отношение давления в баллоне  $p_6$  к давлению воздуха в салоне  $p_c$ . Поскольку  $p_6/p_c \gg 1$ , будет иметь место закритическое истечение воздуха из баллона в салон, но тоже с расходом  $G$ , поскольку  $\Delta p = \text{const}$ . Причем благодаря эффекту дросселирования [4] воздух из баллона будет поступать в салон охлажденным, что обеспечит комфортные условия экипажу при повышенной температуре наружного воздуха из-за ландшафтных пожаров.

С помощью выражений (1) и (2) можно решить следующую задачу. Зная расход воздуха  $G_3$ , необходимый для дыхания экипажа, и избыточное давление  $\Delta p$  в салоне, обеспечивающее непроникновение в него дыма из наружной атмосферы<sup>17</sup>, можно найти площадь выпускного отверстия  $F_{\text{отв}}$  при условии, что салон достаточно герметичен (автомобиль рассчитан на движение в условиях подтопления местности).

Величина  $G_3$  может быть найдена из выражения:

$$G_3 = n_3 G_1 \quad (3)$$

где  $n_3$  — количество членов экипажа (включая водителя) в салоне;

$G_1$  — расход воздуха, потребляемого одним человеком ( $G_1 = 0,6 \text{ м}^3/\text{ч} \approx 0,208 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ ).

Поскольку, согласно СП 7.13130.2013,  $\Delta p < 150 \text{ Па}$  (т.е.  $p_c/p_a < 101\,475/101\,325 = 1,0015$ , что соответствует докритическому процессу), из (1) и (2) получаем:

$$F_{\text{отв}} = \frac{G_3}{\mu p_c} \sqrt{\frac{R_B T_c}{k}} \left(\frac{p_c}{p_a}\right)^{1/k} \sqrt{\frac{k-1}{2 \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_c}\right)^{(k-1)/k}\right]}}. \quad (4)$$

<sup>17</sup> СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности (в редакции от 2020 г.).

Полагая, что в салоне шесть членов экипажа,  $T_c = 20^\circ\text{C}$  и  $\Delta p = 150\text{ Па}$ , из (4) получаем:

$$F_{\text{отв}} = \frac{1,25 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 101\,475} \sqrt{\frac{287,1 \cdot 293}{1,4} \left( \frac{101\,475}{101\,325} \right)^{1/1,4}} \sqrt{2 \left[ 1 - \left( \frac{101\,325}{101\,475} \right)^{0,4/1,4} \right]} \approx 82,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 82,2 \text{ мм}^2.$$

Нетрудно определить, что величине  $F_{\text{отв}} = 82,2 \text{ мм}^2$  соответствует диаметр отверстия  $d_{\text{отв}} \approx 10,2 \text{ мм}$ .

Также может быть оценено время защитного действия для экипажа из шести человек в салоне автомобиля экстренной службы истечения воздуха из 40-литрового баллона при давлении в нем воздуха  $p_6 = 200 \text{ атм}$ . Поскольку в таком баллоне содержится  $8 \text{ м}^3$  воздуха при атмосферном давлении, а экипаж может потреблять воздух в количестве примерно  $3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ , то защитного действия этого баллона хватит более чем на 2 ч, что вполне достаточно для выполнения задачи.

Поскольку обеспечить полную герметизацию салона для автомобилей всех экстренных служб сложно, следует ожидать истечения воздуха из него наружу через неплотности. В этой связи целесообразно оценить общую площадь  $F_{\text{нп}}$  неплотностей и сопоставить ее с ранее определенной величиной  $F_{\text{отв}}$ . Если  $F_{\text{нп}} < F_{\text{отв}}$ , то воздух из салона будет выходить наружу как через неплотности салона, так и через не полностью открытое выпускное отверстие. Если  $F_{\text{нп}} \geq F_{\text{отв}}$ , то в специальном выпускном отверстии нет необходимости — воздух наружу будет выходить через неплотности салона, следовательно, существует вероятность, что потребуется увеличить его расход из баллона.

Для оценки величины  $F_{\text{нп}}$  можно предложить следующий способ. Увеличить давление в салоне автомобиля до  $p_0 \gg 1,893 p_a$  (это обеспечит критический режим истечения воздуха через неплотности), а затем регистрировать падение давления в течение времени  $\Delta t$  до величины  $p_k > 2 p_a$ , что позволит по значениям  $\Delta p = p_0 - p_k$  и  $\Delta t$  определить площадь  $F_{\text{нп}}$ . Для этого выражение (1) с нижней частью выражения (2) представим в виде дифференциального уравнения:

$$G = \frac{dm}{dt} = -\frac{\mu F_{\text{нп}}}{V} m \sqrt{\gamma R_b T_c \left( \frac{m}{m_0} \right)^{\gamma-1}} f(\gamma), \quad (5)$$

где  $m$  — текущая масса воздуха в салоне, кг;

$t$  — время, отсчитываемое от начала процесса, с;

$V$  — свободный объем салона,  $\text{м}^3$ ;

$\gamma$  — показатель политропы ( $\gamma = 1$  соответствует изотермическому процессу, когда истечение медленное, и воздух в салоне успевает нагреваться от находящихся там оборудования

и предметов;  $\gamma = k = 1,4$  — процесс адиабатический, истечение воздуха быстрое);

$m_0 = p_0 V / R_b T_c$  — начальная масса воздуха в салоне, кг;

параметр  $f(\gamma)$  может быть найден по формуле:

$$f(\gamma) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{e}} \approx 0,6065 & \text{при } \gamma = 1, \\ \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{0,5(\gamma+1)/(\gamma-1)} & \text{при } \gamma > 1. \end{cases} \quad (6)$$

Из решения дифференциального уравнения (5) с учетом (6) находим динамику массы воздуха в салоне:

$$m(t) = \begin{cases} m_0 \exp(-\mu F_{\text{нп}} K t) & \text{при } \gamma = 1, \\ \left[ m_0^{-0,5(\gamma-1)} + \frac{\gamma-1}{2} \mu F_{\text{нп}} K t \right]^{-\frac{2}{\gamma-1}} & \text{при } \gamma > 1, \end{cases} \quad (7)$$

где  $K = \frac{\sqrt{\gamma R_b T_c}}{V} f(\gamma)$ ,  $(\text{м}^2 \text{с})^{-1}$ .

После преобразований получаем выражение для оценки площади неплотностей  $F_{\text{нп}}$ :

$$\mu F_{\text{нп}} = \begin{cases} \frac{1}{K \Delta t} \ln \frac{p_0}{p_k} & \text{при } \gamma = 1, \\ \frac{2}{\gamma-1} \cdot \frac{\left( \frac{p_0}{p_k} \right)^{0,5(\gamma-1)/\gamma} - 1}{K \Delta t} & \text{при } \gamma > 1. \end{cases} \quad (8)$$

Например, при  $V = 1 \text{ м}^3$ ,  $R_b = 287,1 \text{ Дж} (\text{кг} \cdot \text{К})^{-1}$ ,  $T_c = 293 \text{ К}$ ,  $\mu = 0,8$  с учетом, что падение давления воздуха в салоне с  $p_0 = 0,25 \text{ МПа}$  до  $p_k = 0,20 \text{ МПа}$  произошло в течение  $\Delta t = 60 \text{ с}$ , расчетные величины  $F_{\text{нп}}$  при  $1,0 \leq \gamma \leq 1,4$  (так как мы заранее не знаем особенностей теплообмена воздуха в салоне) приведены в таблице.

Расчетные величины площади неплотностей в салоне автомобиля

Design values of uninsulated areas in the car salon

$\gamma$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
$F_{\text{нп}}, \text{ мм}^2$ $F_{u,a}, \text{ мм}^2$	26,40	23,31	20,79	18,72	16,98



Поскольку выполняется условие  $F_{\text{отв}} > F_{\text{нп}}$ , выпускное отверстие салона может быть открыто частично.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что с учетом подпора воздуха в салоне и применения тепловизора водителем возможно обеспечить безопасное следование автомобиля экстренной службы к месту вызова в условиях задымления. Кроме того, применение тепловизора позволит обеспечить безопасное движение автомобиля в условиях тумана, сильного снегопада и по неосвещенной дороге ночью (см. рис. 1, *b–d*).

### Движение автомобиля при подтоплении и повреждении дороги

Помимо пожаров, в современном мире происходит множество различных ЧС, требующих скорейшего прибытия автомобилей экстренных служб

[24–30]: подтоплений (рис. 7), землетрясений, приводящих к повреждениям дорожной сети (рис. 8, *a*), также осложнений дорожной обстановки в горной местности (рис. 8, *b*).

Это налагает особые требования на автомобили экстренных служб — они должны прибывать к местам вызова по подтопленным и поврежденным дорогам, а также иметь возможность безаварийно двигаться в горной местности.

Для решения данной проблемы была предложена новая конструктивно-компоновочная схема автомобиля [5], особенность которой заключается в высоком размещении двигательной установки. Соответствующая схема применительно к пожарной автоцистерне показана на рис. 9.

Такая конструктивно-компоновочная схема позволяет: а) двигаться по затопленной местности (см. рис. 7) без риска попадания воды и грязи в двигательную установку 3 (см. рис. 9); б) улучшить ох-



*a*



*b*

**Рис. 7.** Подтопление дорожной инфраструктуры: *a* — улицы; *b* — загородной трассы

**Fig. 7.** The flooded infrastructure: *a* — of a street; *b* — of a rural road



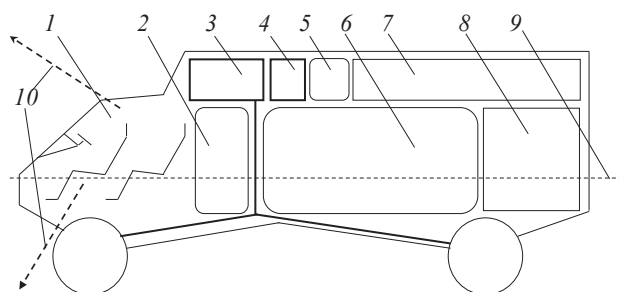
*a*



*b*

**Рис. 8.** Сложные дорожные условия: *a* — шоссе после землетрясения; *b* — дорога в горах

**Fig. 8.** Hazardous driving conditions: *a* — a post-earthquake highway; *b* — a road in the mountains



**Рис. 9.** Конструктивно-компоновочная схема автоцистерны, предназначенной для движения в сложных дорожных условиях: 1 — кабина экипажа; 2 — емкость с пенообразователем; 3 — ДВС; 4 — насос; 5 — топливный бак; 6 — емкость для воды; 7 — рукавный отсек; 8 — отсек для инструментов; 9 — допустимый уровень воды; 10 — сектор обзора

**Fig. 9.** The structural layout diagram of a tank motorcar, designated for hazardous driving conditions: 1 — the crew cabin; 2 — the blowing agent tank; 3 — the internal combustion engine; 4 — the pump; 5 — the gasoline tank; 6 — the water tank; 7 — the sleeve compartment; 8 — the instrument compartment; 9 — the acceptable water level; 10 — the field of view

лаждение двигателя; в) обеспечить обзор в нижней части кабины 1 (см. рис. 9) (водитель может видеть дорогу непосредственно под собой), что важно

при движении в сложных дорожных условиях (см. рис. 8). Компенсация центровки обеспечивается низким расположением емкостей 2 и 6 для огнегасящих веществ (см. рис. 9). Средства управления в кабине 1 (см. рис. 9) выполнены таким образом, что сохраняют работоспособность даже при попадании воды в кабину.

## Выводы

Таким образом, приведены конструктивно-компоновочные схемы автомобилей экстренных служб (пожарных, полицейских, скорой медицинской помощи и др.), позволяющие обеспечивать безопасное прибытие экипажей к месту вызова в сложных условиях: задымление от пожаров, туман, снегопад, отсутствие освещения в ночное время, подтопление местности, повреждение дорожного покрытия и т.п. На технические решения получены патенты РФ.

Данный материал подготовлен в рамках выполнения этапа плановой НИР «Разработка теоретических основ интеллектуальных сетей мониторинга и управления экологической безопасностью мультимодальных транспортных систем».

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент РФ № 105833 U1. Пожарно-спасательный автомобиль с реверсивным движением для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в тоннелях / М.В. Алешков, М.Е. Сочнев, Е.А. Емельянов, А.В. Плосконосов. № 2010134048/12, заявл.: 13.08.2010; опубл.: 27.06.2011. Бюл. № 18.
2. *Теребнев В.В., Подгруппный А.В.* Пожарная тактика. Основы тушения пожара. Екатеринбург : Калан, 2008. 512 с.
3. Патент РФ № 2756194 C1. Способ безопасного следования автомобиля экстренной службы к месту вызова и автомобиль для осуществления способа / И.Г. Малыгин, В.И. Комашинский, А.А. Таранцев. № 2020135941, заявл.: 30.10.2020 ; опубл.: 28.09.2021. Бюл. № 28.
4. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа : учебник для вузов. 7-е изд. испр. М. : Дрофа, 2003. 840 с.
5. Патент РФ № 2003551 C1. Автомобиль / А.А. Таранцев. № 925044023, заявл.: 25.05.1992.
6. *Богданов М.И., Архипов Г.Ф., Мясенков Е.И.* Справочник по пожарной технике и тактике : учебное пособие. СПб., 2007. 120 с.
7. *Potic I.* Remote sensing approach to forest fires monitoring // Environment Science and Policy for Sustainable Development. 2016. Vol. 4 (2). Pp. 47–51.
8. Arbeitskreis Waldbrand Im Deutschen Feuerwehrverband: Sicherheit und Taktik im Waldbrandeinsatz. AFZ-Der Wald. 2009. Vol. 14. Pp. 755–757.
9. *Müller C. et al.* Waldbrandschutz — Manuskript der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Waldbrandschutz. Caspers G. Waldbrandschutz. 2000. CD-ROM. aid.
10. *König H.-C.* Waldbrandschutz. Kompendium für Forst und Feuerwehr. Supplement Band 1, Hrsg. Mathias Bessel, Fachverlag Matthias Grimm, 2007. 197 s.
11. *Südmeren J., Cimolino U., Neumann N.* Wald- und Flächenbrandbekämpfung. Standard-Einsatz-Regeln. ecomed Sicherheit. 1. Auflage. 2008. 102 s.
12. *Горносталь С.А., Петухова О.А.* Аналіз вимог нормативних документів до проведення випробувань на водовіддачу // Збірник матеріалів наук.-прак. семінару «Профілактика, попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій». Харків : НУЦЗУ, 2017. С. 13–14.
13. *Jonson R., Fenimore D.* Fire and flammability woods // Jour. Amer. chem. soc. A3, 1999. Pp. 460–467.



14. Коровин Г.Н., Исаев А.С. Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Лесной бюллетень. 2006. № 8–9.
15. Моисеев Н.А. О каком прорыве в лесных делах России может и должна бы идти речь? // Лесной вестник/Forestry Bulletin. 2019. Т. 23. № 5. С. 8–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-8-15
16. Организация борьбы с лесными пожарами в США // Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы / под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. М. : Дэк-Пресс, 2004. 312 с.
17. Щербов Б.Л., Лазарева Е.В., Журкова И.С. Лесные пожары и их последствия (на примере сибирских объектов) / под науч. ред. Н.А. Рослякова. Новосибирск : Акад. изд-во «Гео», 2015. 154 с.
18. Шешуков М.А., Ковалев А.П., Орлов А.М., Позднякова В.В. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров // Сибирский лесной журнал. 2020. № 2. С. 14–20. DOI: 10.15372/SJFS20200202
19. Фильков А.И. Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров и исследование особенностей сушки, пиролиза и загорания горючих материалов : автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2014. 39 с.
20. Абрамов В.П. Анализ горимости лесов и оптимизация охраны их от пожаров в подзонах предлесостепных сосново-березовых лесов и северной лесостепи Тюменской области : дис. канд. сел.-хоз. наук. Екатеринбург, 2008. 148 с.
21. Кирсанов А.А. Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере при лесных пожарах : автореф. дис. канд. геогр. наук. М., 2015. 23 с.
22. Кректунов А.А. Научное обоснование системы охраны населенных пунктов от лесных пожаров на Среднем Урале : дис. канд. сел.-хоз. наук. Екатеринбург, 2016. 182 с.
23. Surkova G.V., Blinov D.V., Kirsanov A.A., Revokatova A.P., Rivin G.S. Simulation of spread of air pollution plumes from forest fires with the use of COSMO-Ru7-ART chemical-transport model // Atmospheric and Oceanic Optics. 2014. Vol. 3. Pp. 268–274. DOI: 10.1134/S1024856014030105
24. Bui D.P., Pollack Porter K., Griffin S., French D.D., Jung A.M., Crothers S. et al. Risk management of emergency service vehicle crashes in the United States fire service: process, outputs, and recommendations // BMC public health. 2017. Vol. 17. No. 1. Pp. 1–11. DOI: 10.1186/s12889-017-4894-3
25. Missikpode C., Peek-Asa C., Young T., Hamann C. Does crash risk increase when emergency vehicles are driving with lights and sirens? // Accident Analysis & Prevention. 2018. Vol. 113. Pp. 257–262. DOI: 10.1016/j.aap.2018.02.002
26. Jang Dong-Ha, Ku Jae-Hyun, Jeong Jae-Han, Lim Woo-Sub. Comparison between Domestic and foreign technical standards to review the necessity of establishing a performance test system for high-pressure and high-flow fire pumps in fire trucks // Fire Science and Engineering. 2021. Vol. 35. No 4. Pp. 65–70. DOI: 10.7731/KIFSE.cc41f350
27. Usanov D., van de Ven P.M., van der Mei R.D. Dispatching fire trucks under stochastic driving times // Computers & Operations Research. 2020. Vol. 114. Pp. 104829. DOI: 10.1016/j.cor.2019.104829
28. Simeonov P., Hsiao H., Nimbarte A., Current R., Ammons D., Choi H.-S. et al. Evaluation of advanced curve speed warning system for fire trucks // Applied ergonomics. 2021. Vol. 97. P. 103527. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.103527
29. Nowicki T. Optimization of equipment deployment on fire trucks // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2017. Vol. 125. P. 02016. DOI: 10.1051/mateconf/201712502016
30. Hariani M.L., Astor Y. Determination of the fastest route for fire trucks in Cirebon city based on distance, time, congestion and land use // Journal of Green Science and Technology. 2021. Vol. 5. No. 1. DOI: 10.33603/jgst.v5i1.4905

## REFERENCES

1. RF patent No. 105833 U1. *Fire-and-rescue vehicle with reverse movement for extinguishing fires and carrying out rescue operations in tunnels*. Aleshkov M.V., Sochnev M.E., Emelyanov E.A., Ploskonosov A.V. No. 2010134048/12, appl.: August 13, 2010; publ.: June 27, 2011. Bull. No. 18. (rus).
2. Terebnev V.V., Podgrushny A.V. *Fire tactics. Basics of fire fighting*. Ekaterinburg, Kalan Publ., 2008; 512. (rus).

3. RF patent No. 2756194 C1. *A method for safely following an emergency vehicle to the place of a call and a vehicle for implementing the method.* Malygin I.G., Komashinsky V.I., Tarantsev A.A. No. 2020135941, appl.: October 30, 2020; publ.: September 28, 2021. Bull. No. 28. (rus).
4. Loitsyansky L.G. *Mechanics of fluid and gas: a textbook for universities.* 7th ed. Moscow, Drofa Publ., 2003; 840. (rus).
5. RF patent No. 2003551 C1. *Car* / A.A. Tarantsev. No. 925044023, appl: 05/25/1992. (rus).
6. Bogdanov M.I., Arkhipov G.F., Myastenkov E.I. *Handbook of Fire Engineering and Tactics : A Study Guide.* Saint Petersburg, 2007; 120. (rus).
7. Potic I. Remote sensing approach to forest fires monitoring. *Environment Science and Policy for Sustainable Development.* 2016; 4(2):47-51.
8. *Arbeitskreis Waldbrand Im Deutschen Feuerwehrverband: Sicherheit und Taktik im Waldbrandeinsatz.* AFZ-Der Wald. 2009; 14:755-757. (ger).
9. Müller C. et al. *Waldbrandschutz — Manuskript der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Waldbrandschutz.* Caspers G. Waldbrandschutz. 2000. CD-ROM. aid. (ger).
10. König H.-C. *Waldbrandschutz. Kompendium für Forst und Feuerwehr.* Supplement Band 1, Hrsg. Mathias Bessel, Fachverlag Matthias Grimm, 2007; 197. (ger).
11. Südmersen J., Cimolino U., Neumann N. Wald- und Flächenbrandbekämpfung. *Standard-Einsatz-Regeln.* ecomed Sicherheit. 1. Auflage. 2008; 102. (ger).
12. Gornostal S.A., Petukhova O.A. Аналіз вимог нормативних документів до проведення випробувань на водовіддачу. *Профілактика, попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій : збірник матеріалів наук.-прак. семінару.* Kharkiv, NUZU, 2017; 13-14. (ukr).
13. Jonson R., Fenimore D. Fire and flammability woods. *Journal of the American Chemical Society.* 1999; 460-467.
14. Korovin G.N., Isaev A.S. Protection of forests from fires as the most important element of Russia's national security. *Forest Bulletin.* 2006; 8-9. (rus).
15. Moiseev N.A. What kind of breakthrough in the forest affairs of Russia can and should be discussed? *Lesnoy vestnik/Forestry Bulletin.* 2019; 23(5):8-15. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-8-15(rus).
16. Organization of the fight against forest fires in the United States. *Forest fires in Russia: state and problems.* Yu.L. Vorobyov (ed.). Moscow, Dex-Press Publ., 2004; 312. (rus).
17. Shcherbov B.L., Lazareva E.V., Zhurkova I.S. *Forest fires and their consequences (on the example of Siberian objects).* N.D. Roslyakov (ed.). Novosibirsk, Acad. Geo Publishing House, 2015; 154. (rus).
18. Sheshukov M.A., Kovalev A.P., Orlov A.M., Pozdnyakova V.V. Problems and prospects of forest fire protection. *Siberian Forest Journal.* 2020; 2:14-20. DOI: 10.15372/SJFS20200202 (rus).
19. Filkov A.I. *Physico-mathematical modeling of the occurrence of natural fires and the study of the characteristics of drying, pyrolysis and ignition of combustible materials : abstract of the dissertation of Doctor of Physical and Mathematical Sciences.* Tomsk, 2014; 39. (rus).
20. Abramov V.P. *Analysis of forest fires and optimization of their protection from fires in the subzones of preforest-steppe pine-birch forests and the northern forest-steppe of the Tyumen region : dissertation of the candidate of agricultural sciences.* Ekaterinburg, 2008; 148. (rus).
21. Kirsanov A.A. *Modeling the spread of pollutants in the atmosphere during forest fires : abstract of the dissertation of the candidate of geographical sciences.* Moscow, 2015; 23. (rus).
22. Krektunov A.A. *Scientific substantiation of the system of protection of settlements from forest fires in the Middle Urals : dissertation of the candidate of agricultural sciences.* Ekaterinburg, 2016; 182. (rus).
23. Surkova G.V., Blinov D.V., Kirsanov A.A., Revokatova A.P., Rivin G.S. Simulation of spread of air pollution plumes from forest fires with the use of COSMO-Ru7-ART chemical-transport model. *Atmospheric and Oceanic Optics.* 2014; 3:268-274. DOI: 10.1134/S1024856014030105
24. Bui D.P., Pollack Porter K., Griffin S., French D.D., Jung A.M., Crotherset S. et al. Risk management of emergency service vehicle crashes in the United States fire service: process, outputs, and recommendations. *BMC public health.* 2017; 17(1):1-11. DOI: 10.1186/s12889-017-4894-3
25. Missikpode C., Peek-Asa C., Young T., Hamann C. Does crash risk increase when emergency vehicles are driving with lights and sirens? *Accident Analysis & Prevention.* 2018; 113:257-262. DOI: 10.1016/j.aap.2018.02.002
26. Jang Dong-Ha, Ku Jae-Hyun, Jeong Jae-Han, Lim Woo-Sub. Comparison between Domestic and foreign technical standards to review the necessity of establishing a performance test system for high-pressure and high-flow fire pumps in fire. *Fire Science and Engineering.* 2021; 35(4):65-70. DOI: 10.7731/KIFSE.cc41f350

27. Usanov D., van de Ven P.M., van der Mei R.D. Dispatching fire trucks under stochastic driving times. *Computers & Operations Research*. 2020; 114:104829. DOI: 10.1016/j.cor.2019.104829
28. Simeonov P., Hsiao H., Nimbarte A., Current R., Ammons D., Choi H.-S. et al. Evaluation of advanced curve speed warning system for fire trucks. *Applied ergonomics*. 2021; 97:103527. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.103527
29. Nowicki T. Optimization of equipment deployment on fire trucks. *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2017; 125:02016. DOI: 10.1051/mateconf/201712502016
30. Hariani M.L., Astor Y. Determination of the fastest route for fire trucks in Cirebon city based on distance, time, congestion and land use. *Journal of Green Science and Technology*. 2021; 5(1). DOI: 10.33603/jgst.v5i1.4905

*Поступила 15.10.2021, после доработки 15.11.2021;  
принята к публикации 26.11.2021*

*Received October 15, 2021; Received in revised form November 15, 2021;  
Accepted November 26, 2021*

### Информация об авторах

**МАЛЫГИН Игорь Геннадьевич**, д-р техн. наук, профессор, директор Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я Линия ВО, 13; профессор Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Заслуженный работник высшей школы РФ, Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149; Scopus Author ID: 57159964300; ResearcherID: E-2182-2018; ORCID: 0000-0002-0403-8095; e-mail: info@iptran.ru

**ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я Линия ВО, 13; профессор Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149; Scopus Author ID: 57195636448; ResearcherID: K-2087-2018; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t\_\_54@mail.ru

### Вклад авторов:

*Малыгин И.Г. — Идея автомобиля по патенту РФ № 2756194 C1, сбор и анализ материалов по неблагоприятным дорожным условиям, написание и научное редактирование статьи, сбор и анализ публикаций по тематике статьи.*

*Таранцев А.А. — Идея автомобилей по патентам РФ № 2756194 C1 и № 2003551 C1, проведение газодинамических расчетов, подготовка текста статьи, участие в сборе публикаций по тематике статьи.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

### Information about authors

**Igor G. MALYGIN**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, 12-ya Liniya VO, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation; Professor of Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; Scopus Author ID: 57159964300; ResearcherID: E-2182-2018; ORCID: 0000-0002-0403-8095; e-mail: info@iptran.ru

**Alexander A. TARANTSEV**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Laboratory of Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, 12-ya Liniya VO, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation; Professor of Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; Scopus Author ID: 57195636448; ResearcherID: K-2087-2018; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t\_\_54@mail.ru

### Contribution of the authors:

*Igor G. Malygin — The idea of a car according to the patent of the Russian Federation No. 2756194 C1, collection and analysis of materials on adverse road conditions, writing and scientific editing of the article, collection and analysis of publications on the subject of the article.*

*Alexander A. Tarantsev — The idea of cars according to the patents of the Russian Federation No. 2756194 C1 and No. 2003551 C1, performing gas-dynamic calculations, preparing the text of the article, participating in the collection of publications on the subject of the article.*

*The authors declare no conflicts of interests.*