

Научная статья  
УДК 656.13:614.84  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-618-631>  
EDN: TZEKJM



## О ВОЗМОЖНОСТИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ БЕНЗИНА НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА АВТОМОБИЛЯ КАТЕГОРИЙ M<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>G

А. И. Недобитков\*, В. С. Яковлев

Восточно-Казахстанский технический университет,  
г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан  
[a.nedobitkov@mail.ru](mailto:a.nedobitkov@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-4605-9668>  
[vel1051@yandex.kz](mailto:vel1051@yandex.kz), <http://orcid.org/0000-0002-7315-4719>

\*ответственный автор

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Судебная пожарно-техническая экспертиза автомобиля – одна из наиболее востребованных и одновременно сложных экспертиз, поскольку носит комплексный характер и требует взаимодействия экспертов различных специальностей. Конструкция автотранспортных средств и их компонентов непрерывно совершенствуется, что требует адаптации методического аппарата пожарно-технической экспертизы к современным реалиям. Анализируются требования безопасности по предотвращению воспламенения топлива в моторном отсеке легкового автомобиля.

**Материалы и методы.** В условиях аккредитованной лаборатории по испытаниям автомобильных топлив и масел проведены эксперименты по капельному и струйному воспламенению бензина класса K4 на горячей поверхности. Проведены экспериментальные исследования по определению фактической температуры элементов системы выпуска отработавших газов автомобилей категорий M<sub>1</sub> и M<sub>1</sub>G различных моделей в реальных условиях эксплуатации. При измерении температуры поверхности деталей системы выпуска использовались тепловизор и термомпара. При помощи растрового электронного микроскопа с приставкой энергодисперсионного анализа определен элементный состав пленки, образующейся на горячей стальной поверхности при попадании бензина.

**Результаты.** Получены фактические результаты о температуре элементов системы выпуска легковых автомобилей в различных условиях эксплуатации. Приведены результаты экспериментов по капельному и струйному истечению бензина на нагретую поверхность. Проанализирован элементный состав пленки, образующейся на горячей стальной поверхности при попадании бензина, и показана вторичность образования пленки по отношению к причине пожара.

**Заключение.** Результаты исследования могут быть использованы при проведении пожарно-технической экспертизы автотранспортных средств категорий M<sub>1</sub> и M<sub>1</sub>G, что позволит повысить достоверность и обоснованность ее выводов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система выпуска, каталитический нейтрализатор, пожарно-техническая экспертиза, автомобиль, бензин, растровая электронная микроскопия

Статья поступила в редакцию 12.09.2023; одобрена после рецензирования 02.10.2023; принята к публикации 24.10.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Недобитков А. И., Яковлев В. С. О возможности воспламенения бензина на поверхности каталитического нейтрализатора автомобиля категорий M<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>G // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 5 (93). С. 618–631. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-618-631>

© Недобитков А. И., Яковлев В. С., 2023



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-618-631>

EDN: TZEKJM

## ON POSSIBLE PETROL IGNITION ON OF M<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>G CAR CATALYST CONVERTERS SURFACE

Aleksander I. Nedobitkov\*, Vladimir S. Yakovlev

East Kazakhstan Technical University,

Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

[a.nedobitkov@mail.ru](mailto:a.nedobitkov@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-4605-9668>

[vel1051@yandex.kz](mailto:vel1051@yandex.kz), <http://orcid.org/0000-0002-7315-4719>

\*corresponding author

### ABSTRACT

**Introduction.** Forensic fire and technical examination of a car is of high demand, and at the same time it is one of the most complicated examinations, because of its complicated nature and need in involvement of experts of various specialties. The design of automobiles and their components is continually improving. In this connection the methodological base of fire and technical examination should be duly adapted to present-day requirement. The safety requirements for prevention of fuel ignitions in a motor cabinet of a car have been analyzed during the research.

**Materials and Methods.** Under the conditions of an accredited laboratory specializing in testing automobile fuels and oils, we have carried out the experiments in ignition of K4-class petrol being fed in drops and stream-like fed on a hot surface. We have also undertaken the experimental studies in order to find out an actual temperature of elements of engine exhaust systems of M<sub>1</sub> and M<sub>1</sub>G automobiles of various models under the actual operating conditions. A thermal imaging camera and a thermocouple have been used to measure the surface temperature of the engine exhaust system parts. An elemental composition of a film formed on a hot steel surface upon contact with petrol has been determined with the use of a scanning electron microscope.

**Results.** We have received the actual results on the temperature of the elements of light car exhaust systems under the various operating conditions. There are the results of experiments on the discharge of the petrol in the form of drops and stream on a hot surface presented in the article. An elemental composition of a film formed on a hot steel surface upon contact with petrol has been analyzed, and secondariness of film formation towards the fire cause has been proved.

**Conclusion.** The results of the research could be used in the conduct of fire and technical examination of vehicles of M<sub>1</sub> and M<sub>1</sub>G categories, what could increase reliability and validity of its conclusions.

**KEY WORDS:** engine exhaust system, catalyst converter, fire and technical examination, automobile, petrol, scanning electron microscope

**The article was submitted 12.09.2023; approved after reviewing 02.10.2023; accepted for publication 24.10.2023.**

**The authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

**For citation.** Alexander I. Nedobitkov, Vladimir S. Yakovlev On possible petrol ignition on M<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>G car catalyst converters surface. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (5): 618-631. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-618-631>

© Nedobitkov A. I., Yakovlev V. S., 2023



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

По данным<sup>1</sup> в 2021 г. в США было зарегистрировано 174 тыс. пожаров на дорогах, в результате которых погибло 650 чел. Следует отметить, что в 2020 г. в США погибло в результате пожаров автотранспортных средств 580 человек, что свидетельствует о тенденции роста тяжести последствий пожаров.

Ряд исследователей<sup>2</sup> [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26] говорят о том, что пожары в автотранспортных средствах по их числу и материальным потерям сегодня постоянно занимают вторую строчку после пожаров, произошедших в жилом секторе.

В частности, в работе [4] отмечается, что при некотором снижении общего числа пожаров в Российской Федерации материальный ущерб по пожарам в автотранспортных средствах, наоборот, растёт.

Как следует из статьи [23], в настоящее время по-прежнему научное обеспечение исследования пожаров на автотранспортных средствах является недостаточным сформированным и в значительной степени затрудняет работу пожарно-технических экспертов при исследовании пожаров на данном виде транспорта.

Автором [25] показано, что состояние проблемы пожарной безопасности транспортных средств, во-первых, указывает на необходимость объединения усилий специалистов в области общей безопасности транспорта, а во-вторых, снижения рисков возгорания автомобилей до социально приемлемого уровня.

По данным [25], снижение рисков осуществляется посредством достижения соответствия требованиям безопасности как на стадии производства в отношении вводимых в эксплуатацию транспортных средств и выпускаемых в обращение компонентов, так и на стадии эксплуатации в отношении транспортных средств, находящихся в эксплуатации, в том числе при выполнении их технического обслуживания и ремонта, а также при внесении изменений в конструкцию. Например, Технический регламент таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» ввел термин «безопасность

транспортного средства» – состояние, характеризующее совокупностью параметров конструкции и технического состояния транспортного средства, обеспечивающих недопустимость или минимизацию риска причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде.

В целях обеспечения безопасности конструкции транспортные средства проходят сертификационные испытания, и в случае их успешного завершения получают сообщение об официальном утверждении типа. Согласно ТР ТС 018/2011 сообщение об официальном утверждении типа – документ, выдаваемый на основании Соглашения 1958 г., удостоверяющий соответствие транспортного средства или его компонента требованиям Правил ЕЭК ООН.

В целях обеспечения безопасности автомобилей в отношении возникновения пожара Комитетом по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН) разработано Правило 34 «Единые предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении предотвращения опасности возникновения пожара», а в Российской Федерации введен ГОСТ Р 41.34–2001, гармонизированный с ним. В частности, указанные Правила и ГОСТ Р 41.34–2001 устанавливают, что если после столкновения транспортного средства из топливной системы происходит безостановочная утечка топлива, то она не должна превышать 30 г/мин. Конструктивно это реализуется следующим образом: во-первых, применяется аварийный выключатель топливного насоса, который отключает подачу топлива в случае дорожно-транспортного происшествия; во-вторых, при случайной разгерметизации топливной системы падает давление, двигатель останавливается, и блок управления двигателем или контроллер электрического топливного насоса автоматически отключает топливный насос. Необходимо подчеркнуть, что в отношении машин имеется ГОСТ Р 55153–2012 «Машины погрузочно-доставочные шахтные», согласно которому конструкцией должно быть предусмотрено автоматическое отключение дизельного двигателя путем перекрытия пода-

<sup>1</sup> Total number of reported highway vehicle fires in the U.S. from 1980 to 2021, (in) <https://www.statista.com/statistics/377009/us-highway-vehicle-fires-civilian-deaths/> (access on 01/02/2023)

<sup>2</sup> Чешко И. Д., Плотников В. Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. СПбФ ФГУ ВНИИПО МЧС России. Кн.1. Санкт-Петербург: ООО «Типография «Береста», 2010. 708 с.

чи топлива в случае повышения температуры выхлопных газов перед выходом в атмосферу свыше 70 °С, а топливопроводы необходимо размещать на расстоянии не менее 25 мм от неохлаждаемых и вращающихся частей двигателя. При этом топливопроводы должны быть защищены от повреждений и расположены так, чтобы топливо в результате негерметичности не могло попасть на неохлаждаемые или вращающиеся части двигателя.

К сожалению, некоторые авторы и эксперты, исследующие пожары автомобилей, не принимают во внимание эти конструктивные особенности, в частности, в диссертации Ю. Н. Елисеева «Экспертная дифференциация причин возникновения пожара легкового автомобиля в результате поджога и технической неисправности, связанной с розливом горючих жидкостей» отмечается, что при разгерметизации топливной системы последующему пожару способствует большая скорость выгорания бензина 3–6 л/мин. Аналогичный подход продемонстрирован Г. А. Сикоровой в диссертационной работе «Комплексная методика оценки степени термического поражения стальных изделий кузова автомобиля для обеспечения пожарной безопасности» и в статье [21].

Вполне очевидно, что, во-первых, это конструктивно невозможно согласно Правилу 34 ЕЭК ООН, а во-вторых, автомобиль, не прошедший сертификационные испытания и не получивший сообщение об официальном утверждении типа не будет выпущен на рынок любой страны мира.

Также V. Babrauskas, проанализировав ряд исследований, в работе [26] приходит к вводу, что тема воспламенения жидкого топлива на горячих поверхностях недостаточно изучена. В свою очередь, в работах [27, 28] по результатам численного анализа получен вывод, что возгорание пленки жидкого топлива на массивной подложке возможно только при достаточно высоких температурах ( $T > 1100\text{K}$  или 826 °С) и тонких пленках 1–5 мм топлива. Для реализации условий зажигания пленки горючей или легковоспламеняющейся жидкости на разогретой подложке при температурах

( $T < 1100\text{K}$  или 826 °С) необходим подвод дополнительной энергии к смеси окислителя с парами жидкого вещества. При этом авторы [27, 28] подчеркивают, что, во-первых, такие высокие температуры рабочих поверхностей различных агрегатов редки на производствах, а во-вторых, вероятность формирования реакционноспособной смеси паров разлитой жидкости может быть существенно снижена за счет вынужденной вентиляции и охлаждения воздушных масс вблизи рабочих поверхностей различных агрегатов и устройств. Кроме того, в работе<sup>3</sup> подчеркивается, что число назначаемых судебных пожарно-технических экспертиз (СПТЭ), исследующих наличие причинной связи между нарушениями требований пожарной безопасности и развитием и последствиями пожара, неуклонно растет. При этом авторы констатируют, что в экспертной практике имеются случаи неправильного установления причинно-следственной связи между наступившими последствиями и выявленными нарушениями требований пожарной безопасности. Нередко это обусловлено сложностью СПТЭ, а также значительным объемом подготавливаемых экспертами заключений. Необходимо подчеркнуть, что, по мнению<sup>4</sup>, для исключения случаев неправильного установления причинно-следственной связи необходимо поддержание на высоком уровне профессионализма эксперта, постоянной теоретической и практической его подготовки, а при расследовании наиболее сложных дел целесообразно проведение комиссионных судебных пожарно-технических экспертиз. Выводы<sup>5</sup> хорошо согласуются с ГОСТ Р 58197 – 2018 «Порядок проведения экспертизы качества автотранспортных средств». Необходимо отметить, что в данном нормативном документе перечислены квалификационные требования к лицам, проводящим данный вид исследования, и дано определение таким терминам, как пожарно-техническая экспертиза и причина пожара.

В работе [29] указывается, что повышение качества судебных экспертиз, в том числе и судебной пожарно-технической экспертизы, как одной из основных форм использования

<sup>3</sup> Гайдено А.Г., Шеков А.А. Об ошибках при судебно-экспертном исследовании нарушений требований пожарной безопасности и их причинной связи с возникновением, развитием и последствиями пожара. Судебная экспертиза: прошлое, настоящее и взгляд в будущее [Электронный ресурс]: материалы Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 года / сост. Дубовик Е. С. Электрон. дан (3,97 Мб). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет МВД России, 2018.

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Там же.

специальных знаний в судопроизводстве по делам о пожарах, является первостепенной задачей всех судебно-экспертных учреждений. При этом автором [29] подчеркивается, что эксперты часто слепо следуют справочным данным, не задумываясь, насколько физико-химические свойства вещества (материала), указанные в справочниках, адекватны свойствам вещества (материала) на сгоревшем объекте.

На основании вышеизложенного были сформулированы цель и задачи исследования.

Целью работы является оценка возможности воспламенения бензина на поверхности каталитического нейтрализатора с позиции требований послеаварийной безопасности.

В статье поставлены следующие задачи:

- провести замеры реальной температуры элементов выпускной системы автомобилей категорий М<sub>1</sub> и М<sub>1</sub>Г;
- дать анализ потоков движения воздуха в моторном отсеке автомобилей категорий М<sub>1</sub> и М<sub>1</sub>Г;
- провести эксперименты по капельному и струйному воспламенению бензина на нагретой стальной поверхности;
- исследовать элементный состав пленки, образующейся на стальной нагретой поверхности при капельном и струйном истечении бензина;
- установить первичность-вторичность образования пленки по отношению к пожару автомобиля.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в Центре превосходства Veritas, а также в Научно-производственном центре по сертификационным испытаниям автомобильных топлив и масел Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева. В процессе исследования использовались растровый электронный микроскоп JSM-6390LV с приставкой энергодисперсионного микроанализа, тепловизор Fluke Ti400, цифровой мультиметр MASTERDMM-250 (ROBITON) с термопарой в комплекте, печь муфельная SNOL 8,2/1100 E5CN, бюретка с 2-ходовым краном 2-го клас-

са, 25 мл 1-4-2-25-0,1 по ГОСТ 29253–91, фарфоровый тигель № 3 по ГОСТ 9147–80, штатив лабораторный Бунзена ШЛ-03, тигель металлический 25 мл, стакан мерный стеклянный 100 мл по ГОСТ 1770–74. Объектами исследования являлись автомобили категорий М<sub>1</sub> и М<sub>1</sub>Г различных моделей (Toyota, Mercedes, Reno, Lada) и образцы автомобильного бензина класса К4 по ГОСТ 32513–2013.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимо отметить, что исследования по воспламенению бензинов А-76 и АИ-93 описаны в работе<sup>6</sup>. Следует уточнить, что в данной работе 1987 г. издания испытуемый бензин содержал тетраэтилсвинец и не соответствовал стандарту ЕВРО 0, который был введен на территории большинства стран Европы в 1988 г. В настоящее время требования к автомобильным бензинам регламентируются ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту», согласно которому на территории стран Евразийского союза с 2016 г. допускается бензин классов К4 и К5.

Необходимо напомнить, что отличия в физических параметрах стандартов ЕВРО или классов бензина обусловлены неуклонным снижением содержания серы, бензола и непредельных углеводородов с двойной связью.

По методике, изложенной<sup>7</sup>, в нагретый до 500 °С металлический тигель, находящийся на электроплите, наливали 10 г бензина, имевшего комнатную температуру. Бензин нагревался и начинал интенсивно кипеть при температуре около 70 °С и полностью испарялся при достижении температуры 188 °С, что меньше температуры самовоспламенения бензина, которая превышает 255 °С. (рисунок 1). Соответственно, пары бензина в тигле не воспламенялись.

Необходимо подчеркнуть, что авторский коллектив во главе с И. Д. Чешко в работе [30] обосновал применение тигельного метода взамен сложного и дорогого метода термического анализа для оценки количественного выделения при нагревании из вещества летучих компонентов, которые обеспечивают его пламенное горение.

<sup>6</sup> Исхаков Х.И., Пахомов А.В., Каминский Я.Н. Пожарная безопасность автомобиля. М.: Транспорт, 1987. 87 с.

<sup>7</sup> Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов, и средства их тушения: справочник: в 2 ч.; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. 713 с.



а



б

Рисунок 1 – Кипение бензина в тигле: а – интенсивное кипение при 70°C; б – полное выкипание при 188°C  
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Boiling petrol in a crucible, a - intensive boiling at 70°C, b-complete boiling at 188°C  
Source: compiled by the authors

И. С Таубкин в статье [31] аргументированно уточнил, что пожаровзрывобезопасность любой горючей жидкости связана с ее нагревом выше температуры вспышки. Ниже этой температуры жидкость не представляет пожарной опасности в случае кратковременного воздействия источника зажигания.

Для того чтобы воспламенить жидкость при температуре ниже ее температуры вспышки, нужен не кратковременный, а сравнительно длительно действующий источник зажигания с энергией, достаточной для нагрева жидкости до температуры воспламенения, и температурой, которая была бы выше температуры самовоспламенения смеси паров этой жидкости с воздухом. Исключение составляет воспламенение жидкости с помощью фитиля, так называемого «фитильного эффекта» [31].

Дальнейший ход экспериментальных исследований можно увидеть по ссылке <https://youtu.be/dISVyGdv2eM>. Следует отметить, что

данный видеоролик получил положительный отзыв Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС РФ (письмо № ИГ-19-585 от 17.03.2023 г.).

В процессе экспериментов осуществлялась капельная и струйная подача бензина на нагретую металлическую поверхность. При температуре металлической поверхности около 200°C бензин растекался, смачивая поверхность, и испарялся без воспламенения. При температуре металлической поверхности в диапазоне 500–750°C капли бензина, благодаря эффекту Лейденфроста, первоначально дробятся на более мелкие капли, интенсивно испаряются, левитируют и с треском взрываются. В результате время жизни капли весьма незначительно и воспламенение паров бензина также не происходит.

По методу, описанному в работе<sup>2</sup>, а также автором<sup>8</sup> бензин капельно и струйно подавался на нагретую до 750 °С металлическую трубу,

<sup>8</sup> Иванов А.В. Оценка температуры самовоспламенения в реальных условиях. Сб. «Пожарная профилактика». М.: ВНИИПО, 1983. С. 134–141.

установленную с наклоном, соответствующим конструктивному расположению каталитического нейтрализатора. Результаты эксперимента можно увидеть по ссылке <https://youtu.be/dlSVyGdv2eM>. Капли бензина дробились, левитировали и испарялись без воспламенения. Струя топлива также дробилась на капли, часть из которых испарялась, а часть стекала с поверхности трубы без воспламенения. Поскольку время нахождения капель бензина на поверхности нагретой трубы очень мало, то воспламенение не происходило. Необходимо отметить, что при испарении бензина с поверхности трубы ее температура существенно понижалась, делая воспламенение бензина невозможным. В реальных условиях при утечке топлива двигатель автомобиля прекращает работу, и температура каталитического нейтрализатора автоматически падает, делая воспламенение бензина маловероятным.

Полученные результаты хорошо согласуются с работой [32], в которой указано:

- самым слабым из всех источников воспламенения является горячая поверхность;

- одно и то же топливо на цилиндрической поверхности имеет более высокую температуру зажигания по сравнению с плоской поверхностью;

- менее летучие виды топлива воспламеняются при более низких температурах поверхности, так как горючая паровая смесь образовывается медленнее и остается ближе к источнику воспламенения.

Результаты эксперимента соответствуют редакции NFPA 921 от 2004 г. (параграф 25.4.3.2), где говорится: «Обычно бензин не воспламеняется от горячей поверхности, но для воспламенения требуется дуга, искра или открытое пламя», что наглядно показано в ролике <https://youtu.be/dlSVyGdv2eM>.

Далее у автомобилей ряда моделей (Toyota, Mercedes, Reno, Lada) на различных режимах была измерена температура элементов системы выпуска отработавших газов. Измерение фактической температуры производилось как тепловизором на неподвижном автомобиле, так и термопарами при движении транспортного средства. Результаты измерений следующие:

- выпускной коллектор может иметь температуру 300–700 °С;

- тепловой экран первого катализатора может иметь температуру 215–350 °С;

- наружная поверхность второго катализатора может иметь температуру 155–315 °С;

- поверхность выхлопной трубы перед глу-

шителем может иметь температуру 100–270 °С;

- наружная поверхность глушителя может иметь температуру 40–100 °С.

Необходимо отметить, что в целом результаты измерений соответствуют данным, полученным авторами статей [33, 34, 35].

Следует отметить, что в работах [36, 37] показано наличие мощных конвективных потоков в моторном отсеке легкового автомобиля. При этом подчеркивается, что из-за высокой температуры каталитических нейтрализаторов в области их расположения возникают большие встречные вращающиеся вихри, сопровождающиеся всасыванием более холодного окружающего воздуха через вентиляционные щели [35,36,37]. Авторами [36,37] экспериментально и теоретически установлено, что скорость воздуха в моторном отсеке может достигать от 2 до 6 м/с в зависимости от режима движения, причем в области расположения каталитического нейтрализатора в силу конструктивных особенностей автомобиля в целях реализации требований Правил № 34 ЕЭК ООН, она близка к максимальной для данного режима движения.

Резюмируя изложенное, необходимо подчеркнуть, что для того, чтобы выполнить требования правил № 34 ЕЭК ООН тепловой экран каталитического нейтрализатора конструктивно имеет обтекаемую форму, а сам каталитический нейтрализатор расположен под углом к горизонтальной плоскости, что минимизирует время нахождения капель жидкости на его поверхности, поскольку они стекают под действием силы тяжести. Кроме того, каталитический нейтрализатор конструктивно располагается в зоне интенсивного воздушного и конвективного потока.

Следует отметить, что в настоящее время многие эксперты-пожаротехники используют упрощенную схему классического треугольника пожара<sup>2</sup>. Но многие исследователи, в том числе И. М. Абдурегимов, отмечали, что такая упрощенная схема дает лишь качественное представление об условиях пожара [38]. В работе [38] наглядно продемонстрировано, что для количественного представления необходимо вместо комплекса горючее-окислитель ввести понятие «горючая среда». Общеизвестно, что пожаро- и взрывоопасной является не всякая смесь паров горючих жидкостей с воздухом, а только смесь определенного состава, находящегося в концентрационных пределах воспламенения данного вида горючего с воздухом [38].

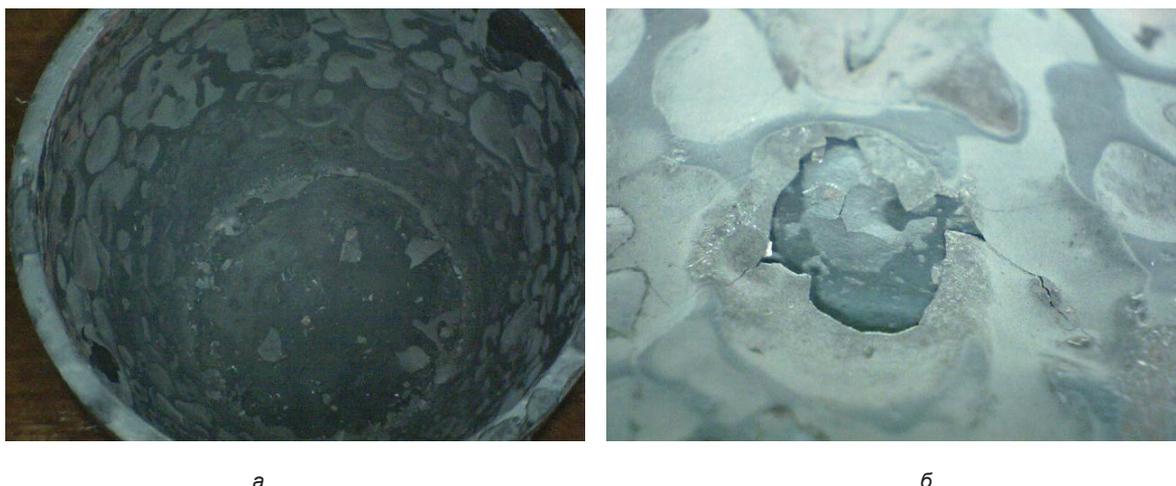


Рисунок 2 – Следы выгорания бензина в тигле: а – общий вид; б – увеличение 5<sup>х</sup>  
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Traces of burning petrol in the crucible, a-general view, b- 5<sup>x</sup> magnification  
 Source: compiled by the authors.

В работе [38] подчеркивается, что вероятность образования горючей системы при транспортировке горючей жидкости определяется температурой и газодинамическими условиями смесеобразования, при этом фактическая вероятность воспламенения зависит от мощности источника поджигания.

Авторами [39] указывается, что каждая причинно-следственная ситуация соответствует конкретному периоду и конкретному набору условий и обстоятельств. Вполне очевидно, что попадание бензина на нагретую поверхность защитного кожуха каталитического нейтрализатора, являющегося самым слабым источником зажигания [26, 32] и находящегося в зоне интенсивного воздушного и конвективного потока [36, 37], не может являться причиной пожара легкового автомобиля. Данный вывод совпадает с мнением Vabrauskas V., который в работе [26] отмечает: «В моторном отсеке автомобиля бензин обычно является веществом, которое меньше всего имеет вероятность возгорания от горячей поверхности, так как он будет, безусловно, самым летучим веществом, которое там можно найти».

Следует отметить, что очень многие эксперты-пожаротехники, указывая на утечку топлива, как вероятную причину пожара легкового автомобиля, в своих заключениях ссылаются на работу Б. В. Мегорского<sup>9</sup>. Но они пропускают следующую цитату этого автора:

«Возможность возникновения пожара по определенной причине еще не означает, что пожар неминуемо произойдет. Возможность возникновения пожара по определенной причине и даже факт возникновения пожара еще не означают, что пожар произошел именно по этой причине. Возможность нельзя смешивать с действительностью»<sup>9</sup>.

Ряд экспертов-пожаротехников, в том числе и специалисты АО «АВТОВАЗ», указывают на такой признак истечения легковоспламеняющихся жидкостей в моторном отсеке автомобиля, как «яблочность» или локальное выгорание капли на металле. Сложилось мнение, что поскольку горят пары, то непосредственно под расположением капли легковоспламеняющейся жидкости остается светлая область. Для проверки этого признака в металлический тигель, нагретый до 500–750 °С, осуществлялась как капельная, так и струйная подача топлива. Тигель был выбран для предотвращения разбрызгивания капель в окружающее пространство. Капли бензина, попадая на дно тигля, дробились, левитировали и попадали на его стенки, где окончательно испарялись без воспламенения. На внутренней поверхности тигля сформировалась окалина, локализованная пятнами (рисунок 2). Окалина была собрана и исследована на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV с приставкой энергодисперсионного анализа (рисунок 3).

<sup>9</sup> Мегорский Б.В. Методика установления причин пожаров. М.: Стройиздат, 1966. 347 с.

Под рисунком

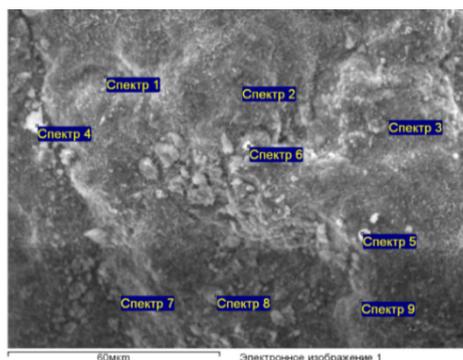


Рисунок 3 – Точки микроанализа  
Источник: составлено авторами.

Figure 3 –Microanalysis points  
Source: compiled by the authors.

Как следует из таблицы, окалина представляет продукт окисления железа с примесями, содержащимися в бензине, а также привнесенной пылью.

Таким образом, наглядно продемонстрировано, что если в моторном отсеке сгоревшего автомобиля имеется окалина, расположенная пятнами, то это является признаком попадания легковоспламеняющейся жидкости на предварительно нагретую металлическую поверхность. В противном случае капли стекут и выгорят вместе с лакокрасочным покрытием, и окалина в виде пятен наблюдаться не

будет ввиду нивелировки под воздействием общей температуры пожара, достигающей в моторном отсеке 800–950 °С [11,12, 15, 16,17]. Резюмируя изложенное, следует вывод, что образование «пятнистой» окалины является следствием пожара, а не его причиной, поскольку следовоспринимающая поверхность уже нагрета.

Результаты проведенных экспериментальных исследований относятся только к технически исправным автомобилям. В таком нормативном документе, как ГОСТ Р 59483–2021 «Колесные транспортные средства» дается следующее определение: «исправность транспортного средства – состояние транспортного средства, находящегося в эксплуатации, при котором выполнены все нормативные требования, предъявляемые к конструкции и техническому состоянию такого транспортного средства». В свою очередь ГОСТ Р 58197–2018 «Порядок проведения экспертизы качества автотранспортных средств» конкретизирует данный термин, указывая, что исправное состояние – это состояние объекта, в котором он соответствует всем требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Также действует ГОСТ 18322–2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники», в котором регламентированы виды технического обслуживания.

Таблица  
Результаты микроанализа участка на рисунке 3  
Источник: составлено авторами.

Table  
The results of the microanalysis for the section shown in Fig.3  
Source: compiled by the authors.

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. Content of chemical element, % by mass									
	O	Mn	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
Спектр 1 / Range 1	3.18	1.21								95.37
Спектр 2 / Range 2	27.78	0.18						0.25		72.04
Спектр 3 / Range 3	35.00	0.15								64.85
Спектр 4 / Range 4	47.49	0.24	1.83	8.88	15.14					22.75
Спектр 5 / Range 5	27.66	0.00			0.40		2.49	0.83	0.34	71.94
Спектр 6 / Range 6	30.63	0.83		0.34		0.42				67.13
Спектр 7 / Range 7	3.97	0.00						0.65		95.32
Спектр 8 / Range 8	34.59	0.34						0.71		65.07
Спектр 9 / Range 9	3.01	0.57								96.41

Таким образом, автомобиль, имеющий сервисную книжку, в которой отмечены все виды регламентного технического обслуживания или ремонтных воздействий, автоматически считается технически исправным. И, соответственно, если нет подтверждения выполнения регламентных работ, то автомобиль может считаться работоспособным. Согласно ТР ТС «Безопасность колесных транспортных средств», «работоспособность» – состояние, при котором транспортное средство или его компоненты могут выполнять свои функции в соответствии с эксплуатационной документацией. Таким образом, автотранспортное средство может быть технически неисправным, но работоспособным, иначе говоря «на ходу». В свою очередь, необходимо отметить, что постановление пленума Верховного суда РФ № 25 от 9.12.2008 г. прямо указывает, что при рассмотрении дел о недоброкачественном ремонте транспортных средств и выпуске их в эксплуатацию с техническими неисправностями надлежит устанавливать причинную связь между недоброкачественным ремонтом отдельных систем, узлов транспортного средства, а также нарушением технологического процесса при их установке или замене и выпуском его в эксплуатацию и наступившими последствиями. Под недоброкачественным ремонтом транспортного средства следует понимать неустранение всех неисправностей в соответствии с технологическими правилами и нормативами либо установку недоброкачественных или нестандартных запасных частей (например, узлов и деталей, не обеспечивающих безопасную эксплуатацию транспортного средства). В связи с этим необходимо выяснять, нарушение каких конкретно правил и нормативов повлекло наступление опасных последствий.

Резюмируя изложенное, делаем два вывода:

- пожар технически исправного легкового автомобиля по причине случайной разгерметизации топливной системы и попадания бензина на поверхность каталитического нейтрализатора объективно невозможен ввиду конструктивных особенностей;

- в случае неисправного, но работоспособного состояния легкового автомобиля необходимо устанавливать причинную связь между неисправностью и пожаром с указанием того, нарушение каких конкретно правил и нормативов повлекло наступление опасных последствий. Более того, ГОСТ Р 58197–2018 прямо отмечает, что вероятностный вывод без указа-

ния оценки вероятности того или иного обстоятельства не допускается.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально доказано и подтверждено результатами других авторов, что температура элементов выпускной системы автомобилей категорий  $M_1$  и  $M_1G$  может находиться в следующих пределах:

- выпускной коллектор может иметь температуру 300–700 °С;

- тепловой экран первого катализатора может иметь температуру 215–350 °С;

- наружная поверхность второго катализатора может иметь температуру 155–315 °С;

- поверхность выхлопной трубы перед глушителем может иметь температуру 100–270 °С;

- наружная поверхность глушителя может иметь температуру 40–100 °С.

Показано, что в моторном отсеке автомобилей категорий  $M_1$  и  $M_1G$  скорость потоков воздуха может достигать от 2 до 6 м/с в зависимости от режима движения, причем в области расположения каталитического нейтрализатора в силу конструктивных особенностей автомобиля, в целях реализации требований Правил № 34 ЕЭК ООН она близка к максимальной для данного режима движения.

Наглядно подтверждено, что при капельной и струйной подаче бензина классов K4 и K5 на нагретую в пределах 500–750 °С металлическую поверхность капли бензина, благодаря эффекту Лейденфроста первоначально дробятся на более мелкие капли, интенсивно испаряются, левитируют и с треском взрываются. В результате время жизни капли весьма незначительно и воспламенение паров бензина не происходит.

Установлен элементный состав пленки, образующейся на стальной нагретой поверхности при капельном и струйном истечении бензина. Окалина представляет продукт окисления железа с примесями, содержащимися в бензине, а также привнесенной пылью.

На примере падения капель бензина на нагретую металлическую поверхность продемонстрировано, что если в моторном отсеке сгоревшего автомобиля имеется окалина, расположенная пятнами, то это является признаком попадания легковоспламеняющейся жидкости на предварительно нагретую металлическую поверхность. Значит, образование окалины вследствие истечения легковоспламеняющейся жидкости является вторичным относительно момента и причины пожара.

Результатами литературного обзора и экспериментально подтверждено, что пожар технически исправного легкового автомобиля по причине случайной разгерметизации топливной системы и попадания бензина классов K4 и K5 на поверхность каталитического нейтрализатора объективно невозможен ввиду конструктивных особенностей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пасовец В. Н., Ковтун В. В., Тагиев Ш. Ш. Пожары на автотранспортных средствах: причины возникновения // Вестник Ун-та гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т 6, № 2. С. 228–238. DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-2.228>.
2. Zhang D. L., et al. Study on vehicle fire safety: Statistic, investigation methods and experimental analysis. *Safety Science*. 117 (2019). 194–204 <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.030>
3. Khodadadzadeh A, Jahangiri K, Khorasani Zavareh D, Vazirinejad R. Epidemiology of Vehicle Fire Fatalities of Road Traffic Injuries in Kerman Province, Iran: A Cross-Sectional Study. *Open Access Maced J Med Sci*. 2019 Jun 30; 7(12):2036–2043. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.483>
4. Харченко И. В., Гераськин М. Ю., Шеков А. А. Использование метода зонирования термических повреждений для установления очага пожара в автотранспортных средствах // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2022. № 3 (102). С. 241–252. DOI: 10.55001/2312-3184.2022.11.75.021
5. Dorsz A, Lewandowski M. Analysis of Fire Hazards Associated with the Operation of Electric Vehicles in Enclosed Structures. *Energies*. 2022; 15(1):11. <https://doi.org/10.3390/en15010011>
6. Gudym V. et al. The effect of short circuits and flame temperature modes on the change in the microstructure of copper in automotive wiring. *Engineering Failure Analysis* 136 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106198>
7. Brzezinska, D., Ollesz, R. and Bryant, P., Design car fire size based on fire statistics and experimental data, *Fire and Materials*, 44, 1099–1107, <https://doi.org/10.1002/fam.2913>, 2020.
8. Hui Zhu, Yunji Gao, HaidongGuo. Experimental investigation of burning behavior of a running vehicle Case Studies in Thermal Engineering Volume 22 22 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100795>
9. Park Y, Ryu J, Ryu H.S. Experimental Study on the Fire-Spreading Characteristics and Heat Release Rates of Burning Vehicles Using a Large-Scale Calorimeter. *Energies*. 2019; 12(8):1465. <https://doi.org/10.3390/en12081465>
10. Hyeongho Choi, Lee Eui-Pyeong. Analysis of a Fire in a Parked Camping Car. *Korean Soc. Hazard Mitig J*. 19(1): 217-223. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.1.217>
11. Dayan Li, Guoqing Zhu, Hui Zhu, Zhichao Yu, Yunji Gao and Xiaohui Jiang. Flame Spread and Smoke Temperature of Full-Scale Fire Test of Car Fire, Case Studies in Thermal Engineering, Volume 10, Pages 315 – 324 <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2017.08.001>
12. Xiao-hui Jiang et al. Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars // *Procedia Engineering*. 211; (2018): 297–305
13. Lee, Eui-Pyeong. Analysis of a Car Fire Caused by a Fuel Leakage from the Common Rail. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* 2018; vol.18:4. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.4.225>
14. Kruger S., Hofmann, A., Berger, A., et al., 2016. Investigation of smoke gases and temperatures during car fire- large-scale and small-scale tests and numerical investigations, *Fire and Materials*. 40(6): 785-799.
15. Okamoto K., Otake T., Miyamoto H., Honma M., and Watanabe N., Burning behavior of minivan passenger cars. *Fire Safety Journal*. 62, 272–280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.07.001>, 2013.
16. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira, T., Masano R., Miura H., Ochiai S., Satoh H., Tamura Y., Hayano K., Maeda Y., and Suzuki J., Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*. 44. 301-310. <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.07.001>, 2009.
17. Xiao-hui J., Guo-qing Z., Hui Z., and Dayan L., Full-scale experimental study to fire spread behavior of cars, *Procedia Engineering*. 211. 297–305. 2018.
18. Ferrone C.W. Commercial vehicle fire, cause and origin analysis (Mechanical, electrical and forensic methods), in: 2nd int. conf., Fires in Vehicles, Chicago, USA, 2012, pp. 83–93.
19. Скودтаев С. В., Чешко И. Д., Теплякова Т. Д. Классификация аварийных пожароопасных режимов работы электросетей автомобилей и схема выявления их следов после пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 1. С. 107–115.
20. Johnsson E.L., Yang J.C. Experimental study on hardening a motorcoach against tire fire penetration. *Fire Mater.* 2016;40(3):416-426. <https://doi.org/10.1002/fam.2295>.
21. Моторыгин Ю. Д., Сикорова Г. А. Комплексная методика исследования степени термического поражения стальных элементов транспортных средств с помощью полевых методов // Технологии техносферной безопасности. 2021. Вып. 3 (93). С. 137–151. <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.3.93.137-151>.
22. Ложкин В. Н. Теория и практика диагностики пожароопасных режимов эксплуатации каталитических нейтрализаторов // Пожаровзрывобезопасность /FireandExplosionSafety. 2022; 31(3):65-74. <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.03.65-74>.
23. Ворошилов Р. Ф., Мурашкевич Е. А. Исследование поврежденного огнем легкового автомобиля после воздействия тепла пожара при разгерметизации топливной системы // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020; 18 (3):38–41. doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.18.3.006.
24. Недобитков А.И., Абдеев Б.М. Оценка несущей способности контактного соединения полюсного вывода свинцовой аккумуляторной батареи // Пожаровзрывобезопасность/FireandExplosionSafety. 2023. Т. 32, № 2. С. 18–32. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.02.18-32.

25. Кисуленко Б. В. Оценка рисков причинения вреда автомобильной техникой в целях технического нормирования // Стандарты и качество. 2007. № 6. С. 80–82.

26. Babrauskas V. Ignition of Gases, Vapors, and Liquids by Hot Surfaces. *Fire Technol* 58, 281–310 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01144-8>

27. Высокоморная О. В., Стрижак П. А. Зажигание жидкого топлива при растекании по разогретой до высоких температур подложке // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21, № 4. С. 17–22.

28. Стрижак П. А. Численный анализ возможности возгорания пленки жидкого топлива на нагретой до высоких температур подложке // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21, № 3. С. 25–30.

29. Таубкин И. С. О повышении качества судебных пожарно-технических экспертиз // Теория и практика судебной экспертизы. 2019. Т. 14, № 4. С. 98–116. <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2019-14-4-98-116>

30. Чешко И. Д., Принцева М. Ю., Теплякова Т. Д. Альтернатива термогравиметрического и дифференциально-термического анализа в исследовании и экспертизе пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 3 (63). С. 95–103.

31. Таубкин И. С. О специальном понятийном аппарате судебной пожарно-технической экспертизы // Теория и практика судебной экспертизы. 2020. Т. 15, № 3. С. 76–88. <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2020-3-76-88>

32. Adams, Jesse Filmore, “Minimum Hot Surface Ignition Temperature Diagnostics Including Infrared Imagery” (2015). Open Access Theses.1043.[https://docs.lib.purdue.edu/open\\_access\\_theses/1043](https://docs.lib.purdue.edu/open_access_theses/1043)

33. Бояршинов М. Г., Кузнецов Н. И. Температурный режим системы выпуска автомобиля при пониженных температурах // Мир транспорта. 2019;17(4):48–67. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-48-67>

34. Fournier, E. and Bayne, T., “Underhood Temperature Measurements of Four Vehicles”, Prepared for Motor Vehicle Fire Research Institute, by Biokinetics and Associates, Ltd., Report R04-13, September 2004. [www.mvfri.org](http://www.mvfri.org)

35. Worsztynowicz B., Uhrynski A. The analysis of heating process of catalytic converter using thermovision. *Combustion Engines*. 2015. 162(3). 41-51. ISSN 2300-9896.

36. Merati P. Davis C. Chen K.H. Johnson J.P. Underhood Buoyancy Driven Flow – An Experimental Study. *J. Heat Transf.* 2011. 133. 1–9.

37. Y.Y. Xie *etal* 2019 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 562 012056 DOI 10.1088/1757-899X/562/1/012056

38. Абдурагимов И. М. Предельные явления в горении как научно-теоретическая основа пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2012; 21(11):18–26.

39. Аминев Ф. Г., Замятин С. А. Частный методический прием установления и верификации причины при производстве судебной экспертизы // Теория и практика судебной экспертизы. 2023. Т. 18, № 2. С. 45–53. <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2023-2-45-53>

## REFERENCES

1. Pasovets B. H., Kovtun B. A., Tagiev Sh. Sh. (2022) Fire on vehicles: causes of their appearance, *Journal of Civil Protection*. 2022; 6(2): 228–238. (In Russ.) doi: 10.33408/2519-237X.2022.6-2.228.

2. Zhang D. L., et al. Study on vehicle fire safety: Statistic, investigation methods and experimental analysis. *Safety Science*. 2019; 117:194–204 <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.030>

3. Khodadadzadeh A., Jahangiri K., Khorasani Zavareh D., Vazirinejad R. Epidemiology of Vehicle Fire Fatalities of Road Traffic Injuries in Kerman Province, Iran: A Cross-Sectional Study. *Open Access Maced J Med Sci*. 2019 Jun 30; 7.

4. Kharchenko I. V., Geraskin M. Yu., Shekov A. A. Ispol'zovanie metoda zonirovaniya termicheskikh povrezhdenij dlja ustanovleniya ochaga požara v avtotransportnyh sredstvakh [The use of the method of zoning thermal damage to establish the seat of fire in the moto vehicle]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii / Vestnik of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2022; 3 (102): 241–252. (in Russ.) DOI: 10.55001/2312-3184.2022.11.75.021.

5. Dorsz A., Lewandowski M. Analysis of Fire Hazards Associated with the Operation of Electric Vehicles in Enclosed Structures. *Energies*. 2022; 15(1):11. <https://doi.org/10.3390/en15010011>

6. Gudym V. et al. The effect of short circuits and flame temperature modes on the change in the microstructure of copper in automotive wiring. *Engineering Failure Analysis* 136 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106198>

7. Brzezinska D., Ollesz R., and Bryant. P. Design car fire size based on fire statistics and experimental data, *Fire and Materials*. 2020; 44:1099–1107, <https://doi.org/10.1002/fam.2913>, 2020.

8. Hui Zhu, Yunji Gao, Haidong Guo. Experimental investigation of burning behavior of a running vehicle Case Studies in Thermal Engineering. 2020; Volume 22 22. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100795>

9. Park Y., Ryu J., Ryou H.S. Experimental Study on the Fire-Spreading Characteristics and Heat Release Rates of Burning Vehicles Using a Large-Scale Calorimeter. *Energies*. 2019; 12(8):1465. <https://doi.org/10.3390/en12081465>

10. Hyeongho Choi, Lee Eui-Pyeong Analysis of a Fire in a Parked Camping Car. *Korean Soc. Hazard Mitig* 2019; J. 19(1): 217-223. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.1.217>

11. Dayan Li, Guoqing Zhu, Hui Zhu, Zhichao Yu, Yunji Gao and Xiaohui Jiang. Flame Spread and Smoke Temperature of Full-Scale Fire Test of Car Fire. *Case Studies in Thermal Engineering*. Volume 10: 315-324 <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2017.08.001>

12. Xiao-hui Jiang et al. Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars. *Procedia Engineering*. 2018; 211: 297–305.

13. Lee, Eui-Pyeong. Analysis of a Car Fire Caused by a Fuel Leakage from the Common Rail. *J. Korean Soc. Hazard Mitig*. 2018; vol.18: pp. 4. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.4.225>

14. Kruger S., Hofmann A., Berger A. et al., 2016. Investigation of smoke gases and temperatures during car fire- large-scale and small-scale tests and numerical investigations. *Fire and Materials*. 40(6): 785-799.
15. Okamoto K., Otake T., Miyamoto H., Honma M., and Watanabe N. Burning behavior of minivan passenger cars. *Fire Safety Journal*. 2013; 62: 272–280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.07.001>.
16. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira T., Masano R., Miura H., Ochiai S., Satoh H., Tamura Y., Hayano K., Maeda Y., and Suzuki J. Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*. 2009; 44: 301-310. <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.07.001>.
17. Xioa-hui J., Guo-qing Z., Hui Z. and Dayan L. Full-scale experimental study to fire spread behavior of cars. *Procedia Engineering*. 2018; 211: 297-305.
18. Ferrone C. W. Commercial vehicle fire, cause and origin analysis (Mechanical, electrical and forensic methods), in: 2nd int. conf., Fires in Vehicles, Chicago, USA, 2012: 83–93.
19. Cheshko I. D., Skodtaye S. V. Teplyakova T. D. Classification of emergency fire-hazardous operations of electric networks of cars and the scheme of identifying their trails after the fire. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* [Problems of technosphere risk management]. 2019; 1 (64):107-115. (In Russ.)
20. Johnsson E. L., Yang J. C. Experimental study on hardening a motorcoach against tire fire penetration. *Fire Mater.* 2016;40(3):416-426. <https://doi.org/10.1002/fam.2295>.
21. Motorygin Yu. D., Sikorova G. A. A comprehensive method for studying the degree of thermal damage to steel elements of vehicles using field methods. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti* [Technology of technosphere safety]. 2021; 3 (93):137-151. (In Russ.) <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.3.93.137-151>.
22. Lozhkin V. N. Theory and practice of diagnostics of fire hazardous modes of operation of catalytic converters. *Pozharovzryvobezopasnost* [Fire and Explosion Safety]. 2022;31(3):65-74. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.03.65-74>.
23. Voroshilov R. F., Murashkevich E. A. Investigation of a car damaged by fire after exposure to the heat of a fire during depressurization of the fuel system. *Sibirskiy pozharo-spasatel'nyy vestnik*/ Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2020; 18 (3):38-41. (In Russ.) doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.18.3.006
24. Nedobitkov A. I., Abdeev B. M. Assessment of bearing capacity of pole connection of lead-acid storage battery terminal. *Pozharovzryvobezopasnost* [Fire and Explosion Safety]. 2023; 32(2):18-32. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.02.18-32 (in Russ.)
25. Kisulenko B.V. Assessment of the risks of causing harm to automotive equipment for the purpose of technical regulation. *Standarty i kachestvo* [Standards and quality]. 2007: 6. 80-82(in Russ.)
26. Babrauskas V. Ignition of Gases, Vapors, and Liquids by Hot Surfaces. *Fire Technol.* 2022; 58, 281–310 <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01144-8>
27. Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Ignition of liquid fuel when spreading over a substrate heated to high temperatures. *Pozharovzryvobezopasnost* / Fire and Explosion Safety. 2012; 21(4):17-22. (in Russ.)
28. Strizhak P. A Numerical analysis of the possibility of ignition of a liquid fuel film on a substrate heated to high temperatures. *Pozharovzryvobezopasnost* / Fire and Explosion Safety. 2012; 21(3):25-30. (in Russ.)
29. Taubkin I. S. On Improvement of the Quality of Forensic Fire Investigations. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2019. Vol. 14. No. 4. P. 98 –116. (In Russ.) <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2019-14-4-98-116>.
30. Cheshko I. D., Printseva M. Yu., Teplyakova T. D. Alternative to thermogravimetric and differential thermal analysis in the study and examination of fires. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* / Problems of risk management in the technosphere. 2022; 3 (63): 95 – 103. (In Russ.)
31. Taubkin I. S. On the Special Conceptual Framework for the Fire Forensics. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2020. Vol. 15. No. 3. P. 76–88. (In Russ.). <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2020-3-76-88>
32. Adams, Jesse Filmore, Minimum Hot Surface Ignition Temperature Diagnostics Including Infrared Imagery (2015). Open Access Theses.1043.[https://docs.lib.purdue.edu/open\\_access\\_theses/1043](https://docs.lib.purdue.edu/open_access_theses/1043)
33. Boyarshinov M.G., Kuznetsov N.I. Thermal Regime of Automobile Exhaust System at Low Temperature. *World of Transport and Transportation*. 2019;17(4):48-67. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-48-67>
34. Fournier, E. and Bayne, T., Underhood Temperature Measurements of Four Vehicles, Prepared for Motor Vehicle Fire Research Institute, by Biokinetics and Associates, Ltd., Report R04-13, September 2004. [www.mvfri.org](http://www.mvfri.org)
35. Worsztynowicz B., Uhrynski A. The analysis of heating process of catalytic converter using thermo-vision. *Combustion Engines*. 2015. 162 (3), 41-51. ISSN 2300-9896.
36. Merati P. Davis C. Chen K.H. Johnson J.P. Underhood Buoyancy Driven Flow – An Experimental Study. *J. Heat Transf.* 2011, 133, 1–9.
37. YY Xie et al/2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 562 012056 DOI 10.1088/1757-899X/562/1/012056
38. Abduragimov I. M. Limiting phenomena in combustion as a scientific and theoretical basis for fire and explosion safety. *Pozharovzryvobezopasnost* / Fire and Explosion Safety. 2012;21(11):18-26. (In Russ.)
39. Aminev F.G., Zamyatin S.A. Specific Methodological Approach for Establishing and Verifying Cause in Forensic Examination. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2023. Vol. 18. No. 2. P. 45–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2023-2-45-53>

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

## COAUTHORS' CONTRIBUTION

The authors contributed equally to this article.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Недобитков Александр Игнатьевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Центра превосходства Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева, SPIN-код: 5662-5180.*

*Яковлев Владимир Сергеевич – главный специалист по техническим вопросам научно-производственного центра по сертификационным испытаниям автомобильных топлив и масел (НПЦ «САТuM»).*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Aleksander I. Nedobitkov – Cand. of Sci., Senior scientist of the Excellence Research Center at D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, SPIN-код: 5662-5180.*

*Vladimir S. Yakovlev – Chief Technical Specialist of the Scientific and Production Center for automotive fuels and oils certification testing (NPTs SATuM).*