

Научная статья

УДК 614.8; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-174-181

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

✉Топилкин Павел Сергеевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉topilkin.p@igps.ru

Аннотация. Рассмотрено изменение вероятности наступления аварийного режима (отказа) электропроводки автомобиля от времени его эксплуатации. Обоснована необходимость установления времени износа и эксплуатации электропроводки в автомобиле. Определены и исследованы аварийные режимы электропроводки автомобиля. Исследовано поведение некоторых контактных соединений автомобиля на предмет роста переходного сопротивления. Сделан вывод о необходимости разработки детерминированных и стохастических математических моделей, описывающих состояние электросети транспортного средства в целях оценки ее пожарной опасности.

Ключевые слова: транспортное средство, электрическая проводка, электрический контакт, короткое замыкание, перегрузка источника питания, высокое контактное сопротивление, математическая модель

Для цитирования: Топилкин П.С. Исследование пожарной опасности электрической системы автотранспортного средства // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 1 (69). С. 174–181. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-174-181.

Scientific article

STUDY OF VEHICLE ELECTRICAL SYSTEM FIRE HAZARD

✉Topilkin Pavel S.

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

✉topilkin.p@igps.ru

Abstract. The article examines the change of the probability of an emergency mode (failure) of the vehicle's electrical wiring depending on the time of its operation. We revealed necessity of establishing the wear and operation time of electrical wiring in a vehicle. Emergency modes in the vehicle electrical network have been identified and analyzed. The behavior of some contact connections of a vehicle was studied for an increase in contact resistance. It is concluded that it is necessary to develop deterministic and stochastic mathematical models that describe the state of the vehicle's electrical network in order to assess its fire hazard.

Keywords: vehicle, electrical wiring, electrical contact, short circuit, power supply overload, high contact resistance, mathematical model

For citation: Topilkin P.S. Study of vehicle electrical system fire hazard // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 1 (69). P. 174–181. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-174-181.

Состояние проблемы

В разные периоды времени пожарная безопасность электрической сети автомобиля находится в различных состояниях:

- пожаробезопасное (по умолчанию в соответствии с технической документацией);
- сниженный уровень пожарной безопасности, нарастающий в процессе применения по назначению;
- пожароопасное, возникающее при нарушении правил эксплуатации и протекании аварийных процессов.

Проблема анализа пожарной опасности транспортных средств исследована в научных работах таких ученых, как Ю.Д. Моторыгин [1], И.Д. Чешко [2, 3], Д.В. Косенко [3] и И.О. Литовченко [4]. Указанные авторы рассматривали влияние аварийных режимов работы электросети автомобиля, включая электропроводку и контактные соединения, а также расположение автотранспортных средств на открытых и закрытых парковках. Новизна данной работы заключается в комплексном подходе, что обусловлено целью работы, а именно в комплексной оценке состояния пожарной безопасности электросети автотранспортных средств, находящихся в эксплуатации небольшого автопредприятия. На базе полученных исследований будет разработан программный комплекс, позволяющий создавать компьютерную базу автомобилей для небольших автомобильных предприятий. Дальнейшие плановые проверки позволят оценивать изменение (нарастание) вероятности возникновения аварийных режимов, проводя сравнения с ранее полученными данными и измеренными показателями [5, 6].

Большая часть пожаров автотранспортных средств происходит по причине протекания аварийных режимов в их электрической системе. Можно утверждать, что период безаварийной работы электрической системы автотранспортного средства зависит от качества изготовления ее элементов, конструктивных особенностей, срока и условий эксплуатации, а также соблюдения соответствия сечения проводников мощности подключаемых потребителей.

Актуальность работы обоснована статистическими данными о количестве и причинах пожаров на автотранспорте. Статистика пожаров, произошедших в России в период с 2020 по 2023 г., показывает, что возгорания на транспорте находятся на втором месте после неосторожного обращения с огнем, а пожары от аварийной работы электросети автомобиля в целом являются самыми распространенными среди причин возникновения пожара на транспорте [7].

Методы исследования

В работе использовались методы исследования, основанные на системном анализе профилактики пожароопасных электротехнических процессов, происходящих в электрической сети, на объектах транспортной инфраструктуры на различных этапах их жизненного цикла.

В данном исследовании предложен новый метод оценки уровня пожарной опасности автотранспортного средства посредством анализа состояния его электросети. Метод предусматривает проведение измерений падения напряжения на местах контактных соединений и дальнейший анализ этих значений. Вывод об уровне пожарной опасности автомобиля можно сделать, проанализировав комплекс условий, дополнительно влияющих на него. К ним относят: срок эксплуатации автотранспортного средства, условия эксплуатации, результаты проведенной диагностики.

Измерение падения напряжения на местах контактных соединений осуществлялось путем включения мультиметра в электрическую цепь для определения параметров тока на участке цепи с коммутационным устройством. В ходе измерений определяли значение электрического сопротивления и силы тока в цепи. Далее рассчитывали величину падения напряжения.

Данное исследование позволяет отследить степень износа коммутационных соединений и спрогнозировать величину риска возникновения пожара на автотранспортном средстве.

На рис. 1 представлен график зависимости вероятности наступления аварийного режима (отказа) электропроводки автомобиля от времени эксплуатации. Очевидно, что вероятность отказов очень высока в начальный период работы, когда начинается приработка контактных соединений, а фактическое качество их выполнения неизвестно. Далее вероятность отказов снижается и какой-то период времени остается постоянной, что соответствует нормальной работе электросети. Затем вероятность отказов снова увеличивается после превышения допустимой степени износа электрооборудования [8–11].

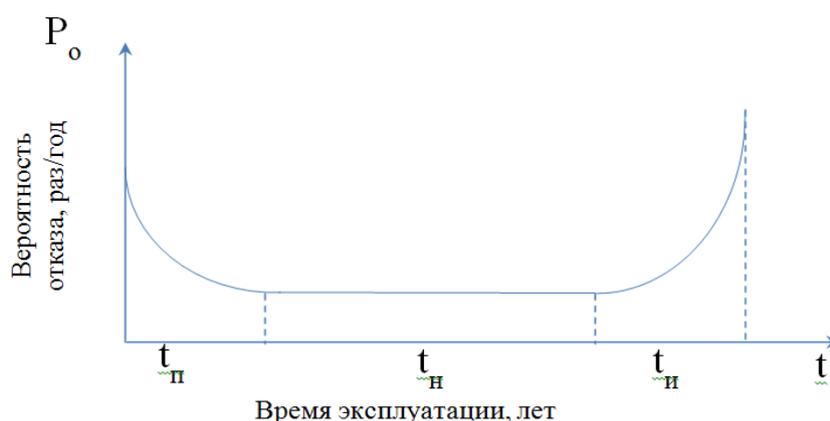


Рис. 1. Зависимость вероятности отказа от времени эксплуатации

На представленном графике можно выделить три основных периода: приработки $t_{П}$, нормальной работы t_H и износа t_I .

Срок эксплуатации электрических проводов и соединений в каждом из этих периодов определяется их конструктивной особенностью, технологией производства и условиями эксплуатации.

Установление времени износа и эксплуатации электропроводки в автомобиле необходимо для увеличения надежности и оптимизации возможных затрат на ремонт и восстановление автомобиля. Повышение качества и надежности электропроводки, соединительных контактов возможно при анализе эксплуатационного опыта, а так же диагностики неисправностей, как следствие, для прогнозирования ресурса эксплуатации [12, 13].

Причастность электросети к возникновению пожара можно анализировать в случае выявления признаков ее повреждения, характерных для следующих аварийных режимов: превышения токовой нагрузки, короткого замыкания токоведущих жил либо возникновения плохого контакта коммутационных устройств и связанного с ним повышенного электрического сопротивления в указанной зоне.

Отмеченное повышение сопротивления в коммутационном устройстве может возникать из-за воздействия внешних факторов. Так, высокие температуры или создание окислительной среды приводит к образованию оксидной пленки на поверхностях контактов [14, 15].

Кроме того, причиной большого переходного сопротивления может явиться халатность специалистов, монтирующих соединительные устройства.

Результаты исследования и их обсуждение

Для решения поставленных в исследовании задач был проведен эксперимент по изучению влияния времени эксплуатации на плотность контакта ряда коммутационных соединений легкового автомобиля HYUNDAI CRETA. С этой целью был произведен замер

напряжения на контактных соединениях с питающей сетью трех элементов электросети автомобиля: нагревательного элемента сидения (соединение 1), галогеновой лампы передней фары ближнего освещения (соединение 2) и катушек зажигания (соединение 3). Выбор контактных соединений был обусловлен вариацией различных электрических параметров и факторов воздействия на них (вибрация, температура, влажность и т.п.).

В ходе исследования производился замер силы тока на контактах выбранных элементов электросети автомобиля при помощи цифрового мультиметра (автомобильного) DT830L и измерение сопротивления с помощью микроомметра ИКС-1А с минимальным пределом измерения сопротивления 1 мкОм.

Эксперимент продолжался в течение четырех месяцев эксплуатации автомобиля. На протяжении данного времени через 30 дней проводился замер силы тока и сопротивления на контактном соединении для расчета падения напряжения. При этом автомобиль находился в постоянной активной эксплуатации. Делали по 10 параллельных измерений для возможности оценки случайной погрешности. Результаты полученных значений падения напряжения в виде границ доверительного интервала представлены в таблице.

Таблица

Значения падения напряжения на контактах выбранных электропотребителей

№ соединения	Падение напряжения, мВ						средний прирост за 30 дн.	общий прирост за 4 месяца
	начальное	30 дн.	60 дн.	90 дн.	120 дн.			
1	4,15±0,05	4,66±0,08	4,83±0,05	5,16±0,10	5,45±0,07	0,33	1,30	
2	1,49±0,01	1,50±0,01	1,52±0,02	1,59±0,02	1,61±0,03	0,03	0,12	
3	2,02±0,02	2,12±0,04	2,09±0,02	2,12±0,04	2,20±0,04	0,05	0,18	

Для наглядности динамики падения напряжения на контактах полученные значения были преобразованы в гистограмму (рис. 2). Анализ полученных данных показал незначительный прирост падения напряжения в течение всего срока наблюдения. При этом в случае проведения измерений на контакте нагревательного элемента сидения прослеживается закономерное увеличение значения падения напряжения, описываемое линейным уравнением, указанным на рис. 2.

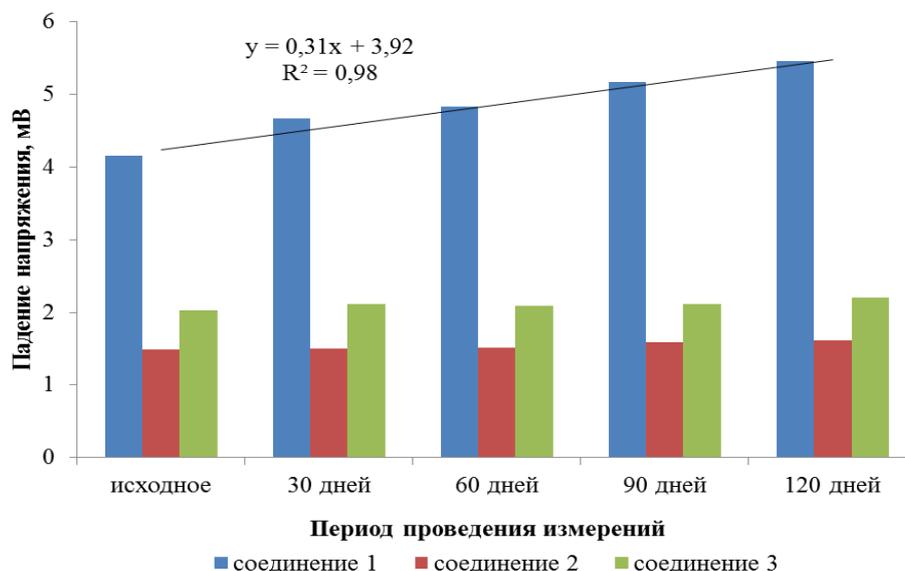


Рис. 2. Изменение падения напряжения на соединениях

Для других исследованных контактных соединений можно также увидеть незначительное увеличение падения напряжения, при этом описывающие данный процесс линейные аппроксимирующие зависимости имеют тангенс угла наклона порядка 0,03 и достоверность аппроксимации ниже 0,9, что говорит об их низкой информативности. В данном случае это говорит не об отсутствии изменений качества контакта, а о недостаточном периоде исследования и, возможно, низкой интенсивности внешних факторов воздействия, что требует продолжения исследования.

За наблюдаемый период значения падения напряжения в исследуемых контактах не превысили допустимых значений для медных проводников [16], тем не менее нарастающая динамика говорит о возможности прогнозирования развития пожароопасного режима электросети автомобиля.

В представленных примерах сопротивление контактных соединений либо постепенно увеличивается, либо длительное время остается практически постоянным. На образование переходного сопротивления существенно влияют технические нагрузки в виде деформаций, изменяющиеся нагрузки на электропроводку, образование влажной среды, запыление поверхности и другие факторы.

Особенно изменения происходят в местах, где имеются соединения при помощи паяния медных проводов. Такой метод часто применялся и был основным и, по мнению специалистов, считался надежным при установке медных проводов. Законодательное регулирование в данной области обеспечивает ГОСТ Р 50571.15–97, в нем отражается требование, что в силовых цепях категорически запрещено делать спайки проводников [17, 18].

Заключение

К причинам возникновения аварийного режима в рассматриваемых соединениях можно отнести возникновение окислительной реакции между припоем и медью – материалом провода и разрушение паяного соединения ввиду расплавления припоя при протекании тока короткого замыкания.

Состояние пожарной безопасности при эксплуатации электросетей обеспечивается в том случае, если коммутационные устройства и соединения электропроводов выполнены таким образом, чтобы повышение силы тока в цепи не приводило к избыточному тепловыделению даже при наличии «плохого контакта». При возникновении возгорания пожарная опасность локализуется только в изделии без распространения за корпус.

Таким образом, паяные соединения не всегда гарантируют надежность соединения проводников.

Для достижения поставленной цели корпуса и механизмы электрокоммутационных изделий должны обладать низкой горючестью. Качество таких изделий и их устойчивость к воспламенению должны быть установлены путем проведения соответствующих огневых испытаний, моделирующих тепловыделение при аварийном режиме работы.

Для того чтобы нивелировать пожарную опасность и увеличить эффективность, необходимо обеспечить их соответствие требованиям пожарной безопасности в любых состояниях. Для этого следует своевременно проводить профилактические работы. К новым мерам профилактики можно отнести специальную обработку электрических проводов и контактных соединений пассивной защитой (нанесение специальных составов). Обоснование своевременности проведения профилактических работ зависит от качества теоретических и практических знаний в этой области [19, 20].

Проведение эмпирических исследований электросети автомобиля процесс долгий и экономически затратный. Поэтому необходимо создание и исследование детерминированных и стохастических математических моделей.

Результаты проведенного исследования положены в основу разработки программы для ЭВМ «Оценка пожарной безопасности электрической сети автомобиля», позволяющей комплексно оценивать величину пожарной безопасности автотранспортного средства в целом на основании состояния пожарной безопасности электрической сети автомобиля и других параметров.

Список источников

1. Моторыгин Ю.Д., Топилкин П.С. Информационная оценка оптимального управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электросети автомобиля // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 62.
2. Чешко И.Д., Скодтаев С.В., Теплякова Т.Д. Классификация аварийных пожароопасных режимов работы электросетей автомобилей и схема выявления их следов после пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 1 (49). С. 107–115.
3. Косенко Д.В. Методика анализа аварийных режимов работы контактных соединений электросети автотранспортных средств: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016.
4. Литовченко И.О., Моторыгин Ю.Д. Методика снижения пожарной опасности в местах открытого хранения автотранспорта с использованием стохастических моделей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та МЧС России». 2018. № 2. С. 29.
5. Мышкин Н.К., Кончин В.В., Браунович М. Электрические контакты. Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2008. 560 с.
6. Топилкин П.С., Косенко Д.В., Моторыгин Ю.Д. Использование пассивной защиты электрической сети автомобиля при возникновении больших переходных сопротивлений // Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2019: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 127–130.
7. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.-аналит. сб. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.
8. Jesse Roman Ramp Risk // NFPA Journal. 2019.
9. Cotts – Exponent, Inc. Emergency Response to Incident Involving Electric Vehicle Battery Hazards / R. Thomas Long Jr. [et al.] // NFPA Journal. 2013.
10. NFPA 1911 Standard for the Inspection, Maintenance, Testing, and Retirement of In-Service Emergency Vehicles Current Edition: 2017 // NFPA. URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-1911-standard-development/1911> (дата обращения: 18.01.2024).
11. Haavard Boehmer, Michael Klassen, Stephen Olenick. Modern Vehicle Hazards in Parking Garages Vehicle Carriers // NFPA Journal. 2020.
12. ASTM B 263/263M-14. Standard Test Method for Determination of Cross-Sectional Area of Stranded Conductors. ASTM, 2020.
13. Моторыгин Ю.Д., Власова Я.А. Оценка методов определения вероятности возникновения пожара от аварийного режима в электросети автомобиля // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России. 2016. № 1. С. 13–17.
14. Моторыгин Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2011.
15. Методика расчета пожарных рисков на транспорте / Ю.Д. Моторыгин [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России. 2014. № 3. С. 132–139.
16. Об утверждении правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии: приказ Минэнерго Рос. Федерации от 12 авг. 2022 г. № 811. URL: <https://normativ.kontur.ru> (дата обращения: 09.03.2023).
17. Моторыгин Ю.Д., Косенко Д.В., Бибарсов Р.Ш. Модель возникновения и развития аварийных режимов в электросети автомобиля, приводящих к возникновению пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 4 (36). С. 82–85.
18. Service operations of electric vehicle carsharing systems from the perspectives of supply and demand: A literature review / Z. Yao [et al.] // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2022. Vol. 140. P. 103702. DOI: 10.1016/j.trc.2022.103702.
19. Optimization of Locating of Recycling Facilities for Vehicles in the Region / E. Kuznetsova [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1115. P. 218–232. DOI 10.1007/978-3-030-37916-2_23.
20. Кравцов М.Н. Пожарная опасность электро, гибридов и автомобилей // Автомобильная электроника. 2017. № 2 (12). С. 117–122.

References

1. Motorygin Yu.D., Topilkin P.S. Informacionnaya ocenka optimal'nogo upravleniya profilaktikoj i predotvrashcheniem pozharoopasnyh rezhimov v elektroseti avtomobilya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). S. 62.
2. Cheshko I.D., Skodtaev S.V., Teplyakova T.D. Klassifikaciya avarijnyh pozharoopasnyh rezhimov raboty elektrosetej avtomobilej i skhema vyyavleniya ih sledov posle pozhara // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 1 (49). S. 107–115.
3. Kosenko D.V. Metodika analiza avarijnyh rezhimov raboty kontaktnyh soedinenij elektroseti avtotransportnyh sredstv: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2016.
4. Litovchenko I.O., Motorygin Yu.D. Metodika snizheniya pozharnoj opasnosti v mestah otkrytogo hraneniya avtotransporta s ispol'zovaniem stohasticheskikh modelej // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta MCHS Rossii». 2018. № 2. S. 29.
5. Myshkin N.K., Konchin V.V., Braunovich M. Elektricheskie kontakty. Dolgoprudnyj: Izd. dom «Intelekt», 2008. 560 s.
6. Topilkin P.S., Kosenko D.V., Motorygin Yu.D. Ispol'zovanie passivnoj zashchity elektricheskoj seti avtomobilya pri vozniknovenii bol'shix perekhodnyh soprotivlenij // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: problemy i resheniya – 2019: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2019. S. 127–130.
7. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2022 godu: inform.-analit. sb. Balashiha: VNIPO MCHS Rossii, 2023. 80 s.
8. Jesse Roman Ramp Risk // NFPA Journal. 2019.
9. Cotts – Exponent, Inc. Emergency Response to Incident Involving Electric Vehicle Battery Hazards / R. Thomas Long Jr. [et al.] // NFPA Journal. 2013.
10. NFPA 1911 Standard for the Inspection, Maintenance, Testing, and Retirement of In-Service Emergency Vehicles Current Edition: 2017 // NFPA. URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-1911-standard-development/1911> (data obrashcheniya: 18.01.2024).
11. Haavard Boehmer, Michael Klassen, Stephen Olenick. Modern Vehicle Hazards in Parking Garages Vehicle Carriers // NFPA Journal. 2020.
12. ASTM B 263/263M-14. Standard Test Method for Determination of Cross-Sectional Area of Stranded Conductors. ASTM, 2020.
13. Motorygin Yu.D., Vlasova Ya.A. Ocenka metodov opredeleniya veroyatnosti vozniknoveniya pozhara ot avarijnogo rezhima v elektroseti avtomobilya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii. 2016. № 1. S. 13–17.
14. Motorygin Yu.D. Matematicheskoe modelirovanie processov vozniknoveniya i razvitiya pozharov: monografiya / pod obshch. red. V.S. Artamonova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2011.
15. Metodika rascheta pozharnyh riskov na transporte / Yu.D. Motorygin [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii. 2014. № 3. S. 132–139.
16. Ob utverzhdenii pravil tekhnicheskoy ekspluatatsii elektroustanovok potrebitelej elektricheskoj energii: prikaz Minenergo Ros. Federacii ot 12 avg. 2022 g. № 811. URL: <https://normativ.kontur.ru> (data obrashcheniya: 09.03.2023).
17. Motorygin Yu.D., Kosenko D.V., Bibarsov R.Sh. Model' vozniknoveniya i razvitiya avarijnyh rezhimov v elektroseti avtomobilya, privodyashchih k vozniknoveniyu pozhara // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2015. № 4 (36). S. 82–85.
18. Service operations of electric vehicle carsharing systems from the perspectives of supply and demand: A literature review / Z. Yao [et al.] // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2022. Vol. 140. P. 103702. DOI: 10.1016/j.trc.2022.103702.
19. Optimization of Locating of Recycling Facilities for Vehicles in the Region / E. Kuznetsova [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1115. P. 218–232. DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2_23.
20. Kravcov M.N. Pozharnaya opasnost' elektro, gibridov i avtomobilej // Avtomobil'naya elektronika. 2017. № 2 (12). S. 117–122.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 09.12.2023; одобрена после рецензирования: 14.02.2024;
принята к публикации: 11.03.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 09.12.2023; approved after review: 14.02.2024;
accepted for publication: 11.03.2024

Информация об авторе:

Топилкин Павел Сергеевич, преподаватель кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: topilkin.p@igps.ru, SPIN-код: 3959-4125

Information about the author:

Topilkin Pavel S., lecturer at the department of forensics and engineering and technical expertise of Saint-Petersburg university of the state fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: topilkin.p@igps.ru, SPIN: 3959-4125