

Научная статья

УДК 614.842.83.07/.08; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-149-157

## **АНАЛИЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПРОФИЛАКТИКА ПОЖАРООПАСНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРОСЕТИ АВТОМОБИЛЯ**

✉ **Моторыгин Юрий Дмитриевич;**

**Топилкин Павел Сергеевич;**

**Литовченко Ирина Олеговна.**

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

✉ [fire-risk@mail.ru](mailto:fire-risk@mail.ru)

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы исследования пожароопасных режимов работы электрической сети автомобиля. Аварийные режимы работы электрических элементов автомобиля могут привести к возникновению пожара с различной степенью вероятности в зависимости от срока эксплуатации машины и внешних воздействий. В статье предложен программный комплекс, основанный на использовании стохастических методов расчета. Это позволит получить более конкретную информацию о вероятности возникновения пожароопасного аварийного режима в электросети автомобиля в зависимости от внешних факторов и срока его эксплуатации. Предлагается использовать полученные результаты для эффективного управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электросети автомобиля. Актуальность такой информации возрастает в случае наличия автомобильных парков, где различаются степень эксплуатации, марка производителя, год выпуска и схема использования электрических элементов каждого автомобиля.

*Ключевые слова:* электрическая сеть автомобиля, вероятность отказа, статистика, цепи Маркова

**Для цитирования:** Моторыгин Ю.Д., Топилкин П.С., Литовченко И.О. Анализ возникновения и профилактика пожароопасных режимов в электросети автомобиля // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 149–157. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-149-157.

Scientific article

## **ANALYSIS OF THE OCCURRENCE AND PREVENTION OF FIRE-HAZARDOUS MODES IN THE CAR'S ELECTRICAL NETWORK**

✉ **Motorygin Yury D.;**

**Topilkin Pavel S.;**

**Litovchenko Irina O.**

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

✉ [fire-risk@mail.ru](mailto:fire-risk@mail.ru)

*Abstract.* The issues of research of fire-hazardous modes of operation of the electric network of the car are considered. Emergency modes of operation of the electrical elements of the car can lead to a fire with varying degrees of probability, depending on the service life of the machine and external influences. The article proposes a software package based on the use of stochastic calculation methods. This will allow you to get more specific information about the likelihood of a fire-hazardous emergency mode in the vehicle's electrical network, depending on external factors and its service life. It is proposed to use the results obtained for effective management of prevention and prevention of fire-hazardous modes in the vehicle's electrical network. The relevance of such information increases in the case of car

parks, where the degree of operation, the brand of the manufacturer, the year of manufacture and the scheme of use of electrical elements of each car differ.

*Keywords:* electric network of the car, probability of refusal, the statistician, chain of Markova

**For citation:** Motorygin Yu.D., Topilkin P.S., Litovchenko I.O. Analysis of the occurrence and prevention of fire-hazardous modes in the car's electrical network // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 149–157. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-149-157.

### Введение. Состояние проблемы

В материалах Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России [1] отмечается, что возникновение пожара от нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования перешло в 2023 г. на второе место после неосторожного обращения с огнем и составило 58 278 пожаров в год. За период с 2020 по 2022 г. рост пожаров на автотранспорте практически не увеличивался, и они составляли около 4,3 % от общего числа пожаров.

Оценить вероятность возникновения пожара от «плохого» контакта можно, анализируя статистическую информацию [1] по данным о возгорании одного электрического элемента в течение года. Но следует отметить, что в России для электрических сетей используется около 108 установочных элементов сети, что существенно повышает опасность возникновения аварийного режима.

Вероятность возникновения условий для пожара в отдельном элементе сети автомобиля составляет  $2 \cdot 10^{-5}$  в год, что превышает нормативную величину, установленную по ГОСТ 12.1.004–91 ( $10^{-6}$  в год) [2]. Это приводит к необходимости проведения мероприятий по профилактике и надзору за электрической сетью автомобиля для обеспечения ее безопасности и надежности, а также снижения риска возгорания [3, 4].

Элементы электрической проводки проходят через все части транспортного средства и являются его важными составляющими. Однако эти элементы состоят из большого количества контактов, которые могут быть неправильно сформированы и, следовательно, недостаточно надежны. Кроме того, при работе автомобиля контакты подвергаются различным воздействиям, таким как: окружающая среда, вибрации и внешнее механическое воздействие. Эти факторы могут привести к неполадкам в работе электрической сети и даже к серьезным авариям. Надежность контактов в электрической проводке автомобиля играет важную роль в обеспечении безопасности и нормальной работы транспортного средства.

Рассмотренные воздействия на контакты сети обычно имеют случайный характер и не могут быть точно описаны детерминированными моделями. Однако количество научных работ в области исследования контактов в электросети автомобиля недостаточное. Чаще всего, анализ проводится уже после возникновения пожара, когда исследуются только оплавления, возникшие в результате аварийных режимов. При этом мало внимания уделяется рассмотрению процессов, предшествующих возникновению пожароопасного аварийного режима. Необходимо проводить более глубокие исследования, чтобы полностью изучить процессы возникновения пожарных ситуаций в электросети автомобиля и, по возможности, предотвращать их.

Основные методики оценки пожарного риска приведены в следующих работах [4, 5]. Основополагающей является идентификация опасных событий. Любой источник зажигания в электрической сети автомобиля можно рассматривать как опасность. На рис. 1 показан анализ основных аварийных процессов в электросети автомобиля.

В данной работе была поставлена цель – создать модели, которые помогут оценить вероятность возникновения аварийного режима, способного вызвать неконтролируемое горение в электросети автомобиля, в зависимости от его срока эксплуатации.



Рис. 1. Результаты анализа основных аварийных процессов в электросети автомобиля

В результате проведенного исследования в статье предлагается использовать разработанные модели при проведении пожарно-технической экспертизы, чтобы обеспечить более точные и надежные результаты.

Кроме того, такая информация может быть весьма полезна для эффективного управления мерами профилактики и предотвращения пожароопасных ситуаций в автомобильных электросетях.

### Методы исследования

Исследования пожароопасных режимов в электросети автомобиля часто проводятся уже по факту пожара. При этом исследуются фрагменты элементов электропроводки с оплавлениями. На рис. 2 представлен пример такой экспертизы. Целью исследования является определение природы оплавления: это электрическое оплавление или оплавление, возникшее в результате внешнего термического воздействия. Если оплавление возникло в результате аварийного режима в электросети, то считают его первичным, если оплавление возникло в результате пожара, то – вторичным. В большинстве случаев в исследовании используются разрушающие методы.



Рис. 2. Пример эмпирического исследования аварийных режимов работы электросети автомобиля

Важным инструментом для оценки риска пожара и принятия соответствующих мер по его предотвращению являются научные модели, которые имеют дело с окончательным исходом пожара. Они позволяют учесть различные факторы, которые могут влиять на распространение огня и повреждение затронутых поверхностей. Это облегчает задачу противопожарной защиты и страхования, делая их более эффективными и надежными.

Одной из основных концепций в оценке риска пожара является детерминированная концепция. Она предполагает рассмотрение цепочки критических событий, которые могут привести к возникновению и распространению пожара. Такой подход позволяет более точно определить аварийные режимы работы электросети и принять меры по его предотвращению.

Необходимо учитывать, что оценка риска пожара не является статическим процессом. Она должна периодически обновляться с учетом изменений в условиях и ситуации. Это важно для обеспечения надежной противопожарной защиты и минимизации потенциальных угроз.

Другим подходом к анализу электросети автомобиля является рассмотрение надежности работы контактных элементов электросети транспортного средства стохастическими методами.

Недетерминированные модели пожара, основанные на теории вероятностей, позволяют более точно учесть вероятность возникновения аварийных режимов в элементах электросети автомобиля. На аварийные процессы в электропроводке автомобиля влияет множество случайных процессов. Оценка риска возникновения пожара в конкретном автомобиле является важным аспектом противопожарной защиты и страхования. Для этого существуют модели, которые занимаются оценкой возможности возникновения горения в элементах электросети автомобиля. В качестве математического аппарата предложена математическая модель, использующая Марковские цепи.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В данной работе проводится анализ трех этапов работы электрической сети, которые отличаются по надежности. На каждом из этих этапов возникают свои причины пожароопасных аварийных режимов эксплуатации электрической сети автомобиля [2]. В результате проведенной декомпозиции основных характеристик отказов и причин их возникновения было выявлено несколько факторов, влияющих на надежность работы контактных элементов. Для оценки прогнозов возникновения пожароопасных аварийных режимов в электрических контактах автомобиля предложена математическая модель, использующая Марковские цепи.

Важно отметить, что при производстве автомобилей существует риск возникновения скрытых дефектов, которые могут повлиять на качество и безопасность автомобиля. Это может быть связано с использованием некачественных материалов и элементов электропроводки, а также с транспортировкой автомобиля. Неисправности могут быть как конструктивными, например неудачная компоновка, так и эксплуатационными, связанными с нарушением режимов приработки. Особенно опасны неисправности в электропроводке, которые могут привести к аварийным режимам и возникновению пожара. Поэтому первый период работы автомобиля, известный как период приработки, требует особого внимания и контроля.

Безопасность и надежность автомобиля напрямую зависят от качества его производства и правильной эксплуатации. Поэтому производители и владельцы автомобилей должны быть внимательны к любым признакам неисправностей и немедленно принимать меры для их устранения, чтобы предотвратить возможные аварии и повреждения.

Период приработки считается завершенным, когда интенсивность отказов элементов электропроводки автомобиля приближается к минимальному значению  $\mu(t)_{\min}$ , что соответствует гарантированному сроку эксплуатации в течение 2–3 лет [5–8].

Второй период, который наступает после завершения приработки, характеризуется повышенной интенсивностью отказов из-за износа и старения электрооборудования автомобиля. В этот период возникают необратимые физические и химические изменения, которые приводят к разрушению или частичной утрате свойств элементов электросети автомобиля, необходимых для нормального функционирования.

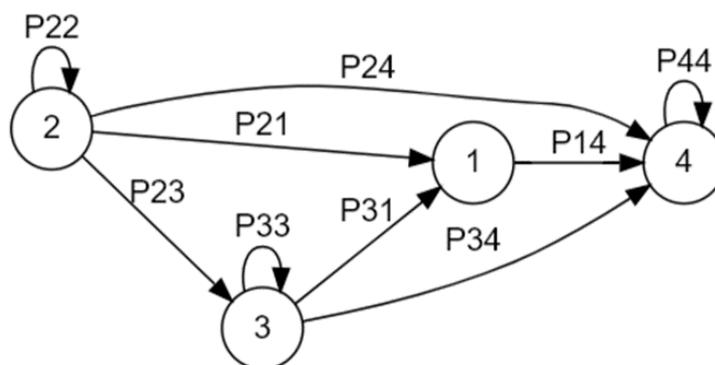
При этом процессы, связанные с износом, обычно являются необратимыми. К таким отказам относятся изменение диэлектрических свойств изоляции электрических проводов, возникновение сильных переходных процессов под воздействием агрессивной окружающей среды, а также механический износ деталей и другие факторы. Увеличение интенсивности отказов  $\mu(t)$  приводит к увеличению продолжительности участка «кривой жизни» электросети автомобиля. Этот участок представляет собой монотонно возрастающую функцию, где крутизна зависит от качества использованных материалов и комплектующих изделий. Исследования [6, 9, 10, 11] показывают, что чем лучше материалы и комплектующие, тем меньше крутизна участка «кривой жизни», и тем дольше он продолжается.

В третьем периоде электропроводка автомобиля требует особого внимания и заботы со стороны владельца. Важно регулярно осматривать и обслуживать электрооборудование, чтобы предотвратить возможные отказы и сбои в работе системы. Возможны различные методы и технологии для пролонгации срока службы электропроводки, такие как: применение специальных защитных покрытий, использование качественных материалов и компонентов, а также правильное использование и обслуживание автомобиля.

Для автоматического анализа возникновения и профилактика пожароопасных режимов в электросети автомобиля был разработан программный комплекс. В математическом аппарате были использованы цепи Маркова.

Для проведения анализа с помощью метода Марковского моделирования необходимо определить вероятности перехода из одного состояния в другое. Метод Марковского моделирования основан на математической концепции случайных процессов, где состояние системы изменяется со временем и зависит только от настоящего состояния. Состояние электрических элементов сети автомобиля может быть определено как исправное или неисправное.

На основании результатов анализа основных аварийных процессов в электросети автомобиля, приводящих к возникновению пожара, показанных на рис. 1, предложен граф состояний (рис. 3).



**Рис. 3. Граф состояний аварийных режимов работы электросети автомобиля:**  
**состояние 1 соответствует аварийному режиму: короткое замыкание;**  
**состояние 2 – электрической перегрузке;**  
**состояние 3 – большому переходному сопротивлению;**  
**состояние 4 – возникновению пожара**

Тогда матрица вероятностей перехода будет иметь следующий вид:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & P14 \\ P21 & P22 & P23 & P24 \\ P31 & 0 & P33 & P34 \\ 0 & 0 & 0 & P44 \end{pmatrix}.$$

При известных или заданных  $P_{ij}$  можно определить финальные вероятности нахождения процесса в  $i$ -м состоянии.

### Заключение

В разработке программного комплекса, основанного на математических моделях, реализована возможность эффективного регулирования проведением профилактических работ на определенных участках электросети автомобиля. Предложенный программный комплекс позволяет определить период проведения и технические характеристики профилактических работ.

Таким образом, процесс планирования и проведения профилактических мероприятий будет оптимизирован и структурирован, что повысит эффективность обслуживания автомобильной электросети.

Одним из способов повышения надежности контактов является применение специальных покрытий на контактных поверхностях. Эти покрытия могут предотвратить окисление и коррозию контактов, а также снизить их износ при воздействии вибрации и механического воздействия. Кроме того, современные технологии позволяют создавать контакты с повышенной стойкостью к экстремальным условиям, таким как высокая температура или влажность.

Новые предложения:

1. Предложенный программный комплекс будет основан на современных алгоритмах и методах математического моделирования, что позволит оценивать состояние электросети и определять необходимость проведения профилактических работ.

2. Программный комплекс будет иметь гибкую настройку, позволяющую учитывать специфические особенности каждого участка электросети и предлагать оптимальные решения по проведению профилактических мероприятий.

3. Полученные результаты из математических моделей будут представлены в удобном и наглядном виде, что позволит оперативно принимать решения по проведению профилактических работ и мониторить их выполнение.

4. Кроме того, программный комплекс будет иметь возможность автоматического расчета затрат на проведение профилактических работ, что поможет оптимизировать бюджетные расходы и сократить издержки.

5. В результате внедрения данного программного комплекса ожидается значительное снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций в электросети автомобиля, а также повышение надежности и долговечности ее работы.

Программный комплекс ориентирован на организации, имеющие свой парк автомобилей. Использование результатов моделирования при обслуживании конкретного автомобиля, занесенного в электронную базу, позволит повысить надежность работы электросети автомобиля и повысить пожарную безопасность эксплуатации всего автомобильного парка [12–14].

### Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.-аналит. сб. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.

2. 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. 61–68.
3. 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.
4. Власова Я.А., Моторыгин Ю.Д. 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.
5. Моторыгин Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2011.
6. ГОСТ Р 51901.15–2005. Менеджмент риска. Применение марковских методов. М.: Стандартинформ, 2005.
7. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51901.10–2009/ISO/TS 16732:2005. Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 дек. 2009 г. № 1242-ст). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
8. Методика расчета пожарных рисков на транспорте / М.И. Архипов [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 3. С. 132–139.
9. Кравцов М.Н. Пожарная опасность электро, гибридов и автомобилей // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2017. № 12.
10. Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation / V.B. Vilkov [et al.] // International journal of civil engineering and technology. 2018. Т. 9. № 1. P. 676–687.
11. Management of the formation of rating preferences of economic entities upon collective choice / Yu.D. Motorygin [et al.] // International journal of economics and financial issues. 2016. Т. 6. № 4. P. 1956–1964.
12. Моделирование процессов развития горения пожарной нагрузки с помощью конечных цепей Маркова / А.И. Подрезова [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 3. С. 176–179.
13. Моторыгин Ю.Д. Моделирование пожароопасных режимов в электросети автомобилей для принятия решения при проведении пожарно-технической экспертизы // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 9. С. 45–51.
14. 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.

## References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2022 godu: inform.-analit. sb. Balashiha: VNIPO MCHS Rossii, 2023. 80 s.
2. 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. 61–68.
3. Topilkin P.S., Kosenko D.V., Motorygin Yu.D. Ispol'zovanie passivnoj zashchity elektricheskoy seti avtomobilya pri vznikhovnenii bol'shih perekhodnyh soprotivlenij // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: problemy i resheniya – 2019: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2019. S. 127–130.

4. Vlasova Ya.A., Motorygin Yu.D. 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.
5. 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.
6. GOST R 51901.15–2005. Menedzhment riska. Primenenie markovskih metodov. M.: Standartinform, 2005.
7. Nacional'nyj standart RF GOST R 51901.10–2009/ISO/TS 16732:2005. Menedzhment riska. Procedury upravleniya pozharnym riskom na predpriyatii (utv. prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 15 dek. 2009 g. № 1242-st). Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».
8. Metodika rascheta pozharnyh riskov na transporte / M.I. Arhipov [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2014. № 3. S. 132–139.
9. Kravcov M.N. Pozharnaya opasnost' elektro, gibridov i avtomobilej // Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnologii. 2017. № 12.
10. Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation / V.B. Vilkov [et al.] // International journal of civil engineering and technology. 2018. T. 9. № 1. P. 676–687.
11. Management of the formation of rating preferences of economic entities upon collective choice / Yu.D. Motorygin [et al.] // International journal of economics and financial issues. 2016. T. 6. № 4. P. 1956–1964.
12. Modelirovanie processov razvitiya gorenija pozharnoj nagruzki s pomoshch'yu konechnyh cepej Markova / A.I. Podrezova [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. T. 7. № 3. S. 176–179.
13. Motorygin Yu.D. Modelirovanie pozharoopasnyh rezhimov v elektroseti avtomobilej dlya prinyatiya resheniya pri provedenii pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. T. 25. № 9. S. 45–51.
14. 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.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 14.09.2023; одобрена после рецензирования: 19.09.2023;  
принята к публикации: 20.09.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 14.09.2023; approved after review: 19.09.2023;  
accepted for publication: 20.09.2023

*Информация об авторах:*

**Моторыгин Юрий Дмитриевич**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: [fire-risk@mail.ru](mailto:fire-risk@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>, SPIN-код: 3913-7751

**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](mailto:topilkin.p@igps.ru), SPIN-код: 3959-4125

**Литовченко Ирина Олеговна**, преподаватель кафедры трудового права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: [litovchenko.irina@bk.ru](mailto:litovchenko.irina@bk.ru), SPIN-код: 1117-1748

*Information about the authors:*

**Motorigin Yury D.**, professor of the department chairs of criminalistics and technical examinations of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [fire-risk@mail.ru](mailto:fire-risk@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>, SPIN: 3913-7751

**Topilkin Pavel S.**, lecturer of the department chairs of criminalistics and technical examinations of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: [topilkin.p@igps.ru](mailto:topilkin.p@igps.ru), SPIN: 3959-4125

**Litovchenko Irina O.**, lecturer of the department of labor law of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: [litovchenko.irina@bk.ru](mailto:litovchenko.irina@bk.ru), SPIN: 1117-1748