

Ю. Д. МОТОРЫГИН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: fire-risk.mail.ru)

УДК 656.9, 51-74

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРООПАСНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРОСЕТИ АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Предложена математическая модель возникновения и развития больших переходных сопротивлений в электропроводке автомобильного транспорта. Показано, что аварийные режимы в электросети автомобиля, связанные с большими переходными сопротивлениями, являются наиболее опасными, так как защиты от их возникновения не существует, а процесс развития большого переходного сопротивления может привести к искрению, короткому замыканию и т. д. С помощью предложенной модели разработаны методики оценки вероятности возникновения аварийных режимов, связанных с большими переходными сопротивлениями, что может привести к возникновению пожара в легковом автомобиле. Предложенная модель позволит эксперту принимать решения при формулировании выводов при производстве пожарно-технических экспертиз. Показано, что данные исследования могут оказать существенную помощь эксперту в установлении очага, причины и оценке развития пожара.

Ключевые слова: расследование пожаров; математическое моделирование; электропроводка автомобильного транспорта; большие переходные сопротивления; конечные цепи Маркова.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.45-51

При исследовании пожаров обычно перед пожарно-техническим экспертом ставятся следующие вопросы [1]:

- где находится очаг пожара (место первоначального возникновения горения);
- какова техническая причина пожара (источник зажигания);
- как происходило развитие пожара?

Однако в ряде случаев (что наиболее характерно для пожаров на автотранспорте) точно установить очаг пожара практически невозможно (рис. 1). В этом случае эксперт использует сведения, полученные при опросе очевидцев и свидетелей, информацию о силе и направлении ветра и других погодных условиях.

Отметим, что о недостатках конструкции и изготовления электрооборудования как причине пожара напрямую указано в сравнительно небольшом числе карточек учета пожаров (1,93 % в 2009 г., 1,09 % в 2012 г.) [2–6].

В ходе исследований частоты отказов электрического оборудования в автомобиле А. Хернер и Х. Ю. Риль пришли к выводу, что более 60 % неисправностей приходится на соединительную технику (контакты), 15 % — на датчики, 10 % — на электронику управления и 15 % — на исполнительные

органы [7]. Объясняется это ручной работой при изготовлении жгутов проводов, т. е. влиянием человеческого фактора.

В электрической цепи, в месте соприкосновения двух или более проводников, создается электрический переходный контакт, или токопроводящее соединение, по которому ток течет из одной части в другую. Соединение электрических проводников зависит от силы их взаимодействия, а не от площади



Рис. 1. Последствия пожара, происшедшего в автомобиле BMW 525i

контакта, так как реальная площадь их соприкосновения в несколько раз меньше всей контактной поверхности, подтверждение чему можно получить с помощью микроскопа [8].

Ввиду малой площади соприкосновения в месте контактного соединения возникает весьма заметное сопротивление при переходе тока с одной поверхности на другую, которое называется переходным контактным сопротивлением. Само переходное сопротивление контакта априори больше, нежели сопротивление электрического проводника.

Переходное сопротивление в значительной мере зависит от степени окисления контактных поверхностей соединяемых проводников. Независимо от материала проводника образующаяся оксидная пленка способствует увеличению электрического переходного сопротивления. Интенсивность окисления проводников зависит от температуры контакта. Чем больше температура, тем выше интенсивность и тем больше переходное сопротивление. При формировании контактных соединений применяют разные способы соединения проводников, например спайку, сварку, опрессовку, механическое соединение с помощью болтов, а также соединение с помощью упругого нажатия пружин.

Фактически при любом способе соединения проводов можно добиться неизменно малого переходного контактного сопротивления. При этом важно соединять провода строго по технологии и с использованием необходимых для каждого способа соединения инструмента и материалов.

Контактное соединение медного электропровода с металлическим корпусом автомобиля является соединением электрохимически несовместимых проводников, которые будут иметь высокое переходное сопротивление.

Количество теплоты, выделяющейся в месте контактного соединения, зависит от состояния и конструкции контактирующих элементов, надежности и прочности закрепления контактов. Интенсивное выделение теплоты ведет к нагреву изоляции и деталей из пластмассы, а при достижении ими температуры самовоспламенения — к их воспламенению.

Рост переходного сопротивления может протекать в процессе старения материала, что выражается в образовании на контактирующих поверхностях оксидных пленок с повышенным удельным электрическим сопротивлением. Толщина и электрическое сопротивление пленок возрастают с течением времени, что ведет к сокращению площади поверхностей ювенального соприкосновения контактирующих деталей. Систематизация факторов, влияющих на возникновение аварийных режимов, приводящих к возникновению пожаров, связанных с появлением больших переходных сопротивлений

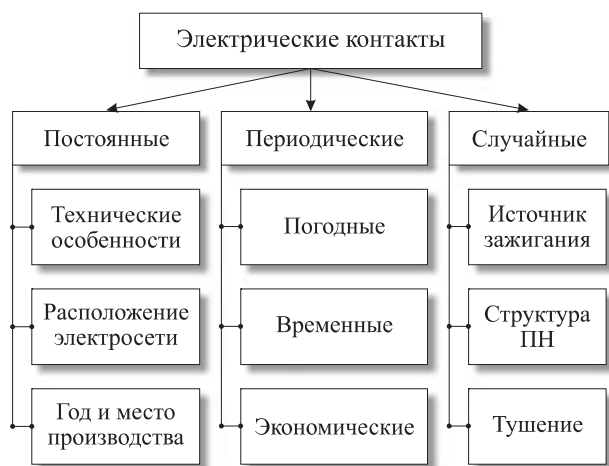


Рис. 2. Классификация воздействий на электрические контакты автотранспортных средств

(БПС) в контактах электросети автомобиля, представлена на рис. 2 [9, 10].

Эти факторы можно разделить на постоянно действующие, периодические и случайные. На рис. 3 показаны аварийные режимы в контактах, способствующие возникновению большого переходного сопротивления, что, в свою очередь, вызывает развитие аварийных режимов в электросети автомобиля и, как следствие, возникновение пожара.

На основании факторов, указанных на рис. 2 и 3, предложена модель оценки показателей надежности контактных соединений электросети автомобиля с помощью конечных марковских цепей [10–12].

Цепь Маркова представляет собой случайный процесс, который переходит из состояния в состояние в дискретные моменты времени, называемые шагами и обозначаемые через $n = 0, 1, 2, \dots$, с определенной вероятностью, так называемой вероятностью перехода. Число состояний конечно, а значение переходной вероятности полностью определяется тем, в каком состоянии находится процесс, т. е. она является условной. Вероятности перехода образуют стохастическую матрицу P , номер строки i которой указывает, из какого состояния происходит переход, а номер столбца j — в какое состояние попадает процесс в результате перехода. Все возможные пути данного процесса описываются степенями матрицы переходных вероятностей P . Причем вероятность p_{ij} не зависит ни от состояния системы в предшествующие моменты времени (свойство марковости), ни от текущего времени (свойство однородности).

При анализе цепей Маркова удобным и наглядным является использование графов состояний [13–16]. Каждому состоянию соответствует круг с номером состояния. Если из состояния i в состояние j возможен одношаговый переход, т. е. $p_{ij} \neq 0$ при $i \neq j$, то из состояния i в состояние j проводится дуга со стрел-



Рис. 3. Аварийные режимы, связанные с возникновением БПС в электросети автомобиля

кой, рядом с которой указывается вероятность перехода p_{ij} . Вершина i называется существенной тогда и только тогда, когда для всех состояний j , в которые возможен переход из состояния i , возможно возвращение. Вершина i несущественна тогда и только тогда, когда существует вершина j , в которую возможен переход из i , но невозможно возвращение.

На рис. 4 показан граф состояний показателей надежности контактных соединений электросети автомобиля, соответствующий рис. 2 и 3:

- состояние 0 (S_0) — рабочее состояние контактных соединений электросети автомобиля (рабочий контакт);
- состояние 1 (S_1) — периодически возникающие БПС (попадание воды, вибрация, работа нештатного оборудования и т. п.);
- состояние 2 (S_2) — случайное невосстанавливаемое воздействие, приводящее к разрушению контакта (ДТП, окисление, физическое воздействие и т. д.);
- состояние 3 (S_3) — постоянное невосстанавливаемое воздействие (скрутка проводов, заводской брак, некачественный монтаж и пр.);
- состояние 4 (S_4) — возгорание изоляции в результате теплового воздействия при падении напряжения на контакте;
- состояние 5 (S_5) — искрение, возникновение дуги и их воздействие на легковоспламеняющиеся жидкости и горюче-смазочные материалы;
- состояние 6 (S_6) — выделение тепловой энергии в результате возникновения перегрузки или короткого замыкания.

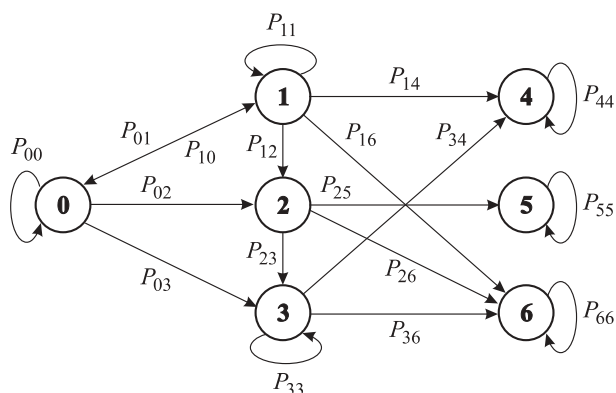


Рис. 4. Граф состояний показателей надежности контактных соединений электросети автомобиля

Данной математической модели будет соответствовать следующая матрица перехода [11, 13, 17]:

$$P = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} & 0 & 0 & 0 \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & 0 & P_{14} & 0 & P_{16} \\ 0 & 0 & 0 & P_{23} & 0 & P_{25} & P_{26} \\ 0 & 0 & 0 & P_{33} & P_{34} & 0 & P_{36} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{66} \end{pmatrix}.$$

Состояния S_0 – S_6 принадлежат эргодическому множеству, в котором можно из любого состояния попасть в любое другое, из которого уже нельзя выйти [11, 14]. В данной модели используются поглощающие цепи Маркова — цепи, все эргодические состояния которых являются поглощающими,

т. е. такие состояния, из которых в случае попадания в них нельзя выйти.

Известно, что в любой поглощающей конечной цепи Маркова, независимо от того, где начался процесс, вероятность через n шагов оказаться в невозвратном эргодическом состоянии стремится к 1 при $n \rightarrow \infty$. Под невозвратными состояниями в теории цепей Маркова следует понимать такое множество состояний, в котором можно из любого одного состояния попасть в любое другое, из которого можно выйти [11].

Удобно придать матрице P несколько иной — канонический вид, объединив все эргодические состояния в одну группу и все невозвратные состояния — в другую. Тогда каноническая форма будет выглядеть так:

$$P = \begin{pmatrix} S & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ R & \vdots & Q \end{pmatrix},$$

или

$$P = \left(\begin{array}{ccc|cccc} P_{66} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{55} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline P_{36} & 0 & P_{34} & P_{33} & 0 & 0 & 0 \\ P_{26} & P_{25} & 0 & P_{23} & 0 & 0 & 0 \\ P_{16} & 0 & P_{14} & 0 & P_{12} & P_{11} & P_{10} \\ 0 & 0 & 0 & P_{03} & P_{02} & P_{01} & P_{00} \end{array} \right)_N.$$

Подматрица S размерностью 3×3

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

относится к процессу после достижения пожаром поглощающего состояния. Подматрица 0 размерностью 4×3 представляет собой совокупность нулей, а матрица R размерностью 3×4 показывает вероятность переходов из невозвратных состояний в эргодические:

$$R = \begin{bmatrix} P_{36} & 0 & P_{34} \\ P_{26} & P_{25} & 0 \\ P_{16} & 0 & P_{14} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Подматрица Q размерностью 4×4 описывает поведение процесса до выхода из множества невозвратных состояний [11]:

$$Q = \begin{bmatrix} P_{33} & 0 & 0 & 0 \\ P_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{12} & P_{11} & P_{10} \\ P_{03} & P_{02} & P_{01} & P_{00} \end{bmatrix}.$$

Поведение процесса развития аварийного режима в электросети автомобиля по временным периодам описывается возведением переходной матрицы в следующую степень. При возведении матрицы P

во все более высокие степени все элементы подматриц Q стремятся к 0. Подматрица $S = I$, т. е. представляет собой единичную матрицу. Из определения произведения матриц следует, что при возведении матрицы P в степень подматрица I не меняется.

Из теории марковских цепей следует, что среднее время, соответствующее каждому состоянию аварийного режима работы электропроводки автомобиля в каждом конкретном состоянии, всегда конечно, при этом оно определяется фундаментальной матрицей N . Каждый элемент матрицы соответствует среднему числу раз попадания системы в то или иное состояние до остановки процесса (поглощения). Матрица N имеет вид:

$$N = (I - Q)^{-1}.$$

Дисперсия времени пребывания в том или ином состоянии тех же случайных величин определяется матрицей

$$N_2 = (2N_{dg} - I) - N_{sq},$$

где N_{dg} — диагональная матрица, т. е. матрица, полученная из матрицы N путем оставления в ней лишь диагональных элементов и замены остальных элементов нулями;

N_{sq} — матрица, полученная из матрицы N путем возведения в квадрат каждого ее элемента.

Среднее время нахождения аварийного режима электропроводки автомобиля в одном из состояний τ будет определяться выражением

$$\tau = N\xi,$$

где ξ — вектор-столбец, элементами которого являются единицы:

$$\xi_{<2>} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Марковская модель, включающая несколько поглощающих состояний, позволяет рассчитать, в какое из поглощающих состояний цепь попадет раньше (или позже); в каких из них процесс будет останавливаться чаще, а в каких — реже. Введем величину B , которая будет характеризовать вероятность того, что процесс завершится в некотором поглощающем состоянии при условии, что начальным было состояние P . При этом множество состояний образует матрицу, строки которой соответствуют невозвратным состояниям, а столбцы — всем поглощающим состояниям:

$$B = NR.$$

Выводы

Предложена математическая модель оценки аварийных режимов работы электросети автомобилей, приводящих к возникновению пожара.

На основании анализа разработана математическая модель вероятности возникновения аварийных режимов, связанных с большими переходными сопротивлениями, что может привести к возникновению пожара в легковом автомобиле. Данная модель даст возможность эксперту принимать оптимальные решения при формулировании выводов при производстве пожарно-технических экспертиз автотранспортных средств. Используя теорию конечных цепей Маркова, можно решать следующие существенные задачи:

1) на конечном множестве вероятных состояний определять вероятностную величину перехода математической модели из состояния i в состояние j за n шагов, а именно, создавать матрицу $(N \times N)$ вероятностных переходов на шаге n :

$$P_n = (p_{ij})^n,$$

что поможет оценивать вероятность возникновения аварийного режима в электропроводке автомобиля, выявлять источники зажигания, послужившие причиной возникновения пожара, связанного с возникновением БПС в электросети автомобиля;

2) находить N -вектор вероятностных состояний системы $\alpha_n = \alpha_1^{(n)}, \alpha_2^{(n)}, \dots, \alpha_N^{(n)}$ через n шагов, что позволяет оценивать возможность развития пожара в автотранспортном средстве;

3) на конечном марковском множестве состояний определять вероятность перехода аварийных ситуаций из состояния i в состояние j за n шагов, а также вероятность перехода аварийных ситуаций из состояния i в состояние j не более чем за n шагов. Это даст возможность рассчитывать вероятность прекращения горения на определенных стадиях в каждой зоне горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году: стат. сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М.: ВНИИПО, 2012. — 137 с.
3. Новости пожарной безопасности / Научно-практический центр “Пожарная безопасность”. 2010–2016. URL: <http://www.01-news.ru/stats.html> (дата обращения: 04.02.2016).
4. Основные направления деятельности. Сайт ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2001–2016. URL: <http://www.vniipo.ru/institut/tseli-zadachi-i-funktsii-instituta> (дата обращения: 04.02.2016).
5. Fire Loss in the United States during 2011 / Michael J. Karter, Jr. — Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2012.
6. Fire statistics Great Britain 2011 to 2012. — London: Department for Communities and Local Government, 2012. — 65 p.
7. Хернер А., Риль Х.-Ю. Автомобильная электрика и электроника. — М.: ООО Изд-во “За рулем”, 2013. — 624 с.
8. Пехотики В. А., Сметков Г. И. Требования пожарной безопасности к электротехническим установкам: сб. нормативных документов. — М.: ВНИИПО, 2003. — Вып. 15. — 508 с.
9. Аманбаев М. Т., Моторыгин Ю. Д. Моделирование чрезвычайных ситуаций на транспорте при производстве пожарно-технических экспертиз // Использование криминалистической и специальной техники в противодействии преступности: Междунар. науч.-практ. конф. — СПб.: С.-Петербург. ун-т МВД России, 2013.
10. Моторыгин Ю. Д., Косенко Д. В. Математическое моделирование развития горения автомобиля // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2014. — № 2. — С. 45–50.
11. Кемени Д., Снелл Д. Конечные цепи Маркова. — М.: Наука, 1970. — 271 с.
12. Моторыгин Ю. Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров. — СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2011. — 202 с.
13. Hurley M. J., Madrzykowski D. Evaluation of the Computer Fire Model DETACT-QS // Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods: Proceedings of 4th International Conference, March 20–22, 2002, Melbourne, Australia / Almand K., Coate C., England P., Gordon J. (eds.). — Melbourne, 2002. — P. 241–252.
14. Merle G., Roussel J. -M., Lesage J. -J., Bobbio A., Vayatis N. Analytical calculation of failure probabilities in dynamic fault trees including spare gates // European Safety and Reliability Conference (ESREL 2010). — Rhodes, Greece, 2010.
15. Spiridonov I., Stepanyants A., Victorova V. Design testability analysis of avionic systems // Reliability: Theory and Applications (RT&A). — 2012. — Vol. 7, No. 03(26). — P. 66–73.
16. Meng F. S. Comparing Birnbaum importance measure of system components // Probability in Engineering and Information Sciences. — 2004. — Vol. 18, No. 2. — P. 237–245. DOI: 10.1017/s0269964804182077.

17. Прогнозирование опасных факторов пожара : учеб. пособие / Ю. Д. Моторыгин, В. А. Ловчиков, Ф. А. Дементьев, Ю. Н. Бельшина. — СПб. : Астерион, 2013. — 108 с.

Материал поступил в редакцию 31 мая 2016 г.

Для цитирования: 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. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.45-51.

English

MODELING OF THE FIRE-DANGEROUS MODES IN THE POWER SUPPLY NETWORK OF CARS FOR DECISION-MAKING WHEN CARRYING OUT THE FIRE INVESTIGATION

MOTORYGIN Yu. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Criminology and Technical Engineering Enquiry Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail address: fire-risk@mail.ru)

ABSTRACT

After arsons, the main reason for the fires on motor transport is emergency operation of operation of the power supply network (short circuit, overload of electricity cables and big transitional resistance). For Russia it is typical that the cars made 10–20 years ago constantly continue to be operated. The electrical wiring of such cars has a bad condition and often becomes a cause of the fire. Besides, even new cars are equipped with the additional alarm system, powerful musical and video equipment, systems of heating and ventilation, additional headlights. And contacts of the additional equipment often are made in the handicraft way that can lead to big transitional resistance and be a cause of the fire. Studying of nature of emergence and development of big transitional resistance, the techniques of an assessment of probability of emergence of the emergency operation, which connected with the big transitional resistance (BPS), leading to emergence of the fire in the car, will allow to create new recommendations, requirements in the field of fire safety which needs to be considered, to be changed taking into account a tendency of development of the motor transport. The accidents modes in the car power supply networks connected with big transition resistances are the most dangerous, as protection against their emergence does not exist, and development of big transition resistance can lead to sparking, short circuit and other ignition sources. At the same time, the initial reason of emergence of the fire is leveled, in process of the fire and suppression. In article, the stochastic model of the analysis of the emergency modes arising in the power supply network of cars is offered. The Markov model including several absorbing states will allow to calculate to what of the absorbing states the chain will get earlier (or later); in what of them process will stop more often and in what — is more rare. The developed model allows to analyses probability of emergence of the fire from the electric reasons connected with big transitional resistance that allows to make the correct conclusions by production of fire investigations.

Keywords: fire enquiry; mathematical modeling; electrical wiring of the motor transport; big transitional resistance; final chains of Markov.

REFERENCES

1. Motorygin Yu. D. *Mathematical modeling of processes of occurrence and development of fires*. Saint Petersburg, St. Petersburg University of State Fire Service Publ., 2011 (in Russian).
2. Klimkin V. I. (ed.). *Fires and fire safety in 2011. Statistical book*. Moscow, VNIPO Publ., 2012. 137 p. (in Russian).

3. *News of fire safety. Scientific and practical center "Fire Safety".* 2010–2016 (in Russian). Available at: <http://www.01-news.ru/stats.html> (Accessed 4 February 2016).
4. *Main activities. Site of All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia.* 2001–2016 (in Russian). Available at: <http://www.vniipo.ru/institut/tseli-zadachi-i-funktsii-instituta> (Accessed 4 February 2016).
5. Michael J. Karter, Jr. (ed.). *Fire Loss in the United States during 2011.* Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2012.
6. *Fire statistics Great Britain 2011 to 2012.* London, Department for Communities and Local Government, 2012. 65 p.
7. Herner A., Ril H.-Yu. *Automotive electric and electronics.* Moscow, OOO "Izdatelstvo "Za rulem", 2013. 624 p. (in Russian).
8. Pekhotikov V. A., Smelkov G. I. Fire safety requirements for electrical installations. Collection of normative documents. Moscow, VNIPO Publ., 2003, issue 15. 508 p. (in Russian).
9. Amanbaev M. T., Motorygin Yu. D. Simulation of emergency situations on transport in the production of fire-technical expertise. In: *Proceedings of International Conference "Use of forensic and special techniques against criminality"*. Saint Petersburg, St. Petersburg University of State Fire Service Publ., 2013 (in Russian).
10. Motorygin Yu. D., Kosenko D. V. Mathematic simulation of fire extension in the vehicles. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii (Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia)*, 2014, no. 2, pp. 45–50 (in Russian).
11. Kemeni D., Snell D. *Finite Markov chains.* Moscow, Nauka Publ., 1970. 271 p. (in Russian).
12. Motorygin Yu. D. *Mathematical modeling of processes of occurrence and development of fires.* Saint Petersburg, St. Petersburg University of State Fire Service Publ., 2011. 202 p. (in Russian).
13. Hurley M. J., Madrzykowski D. Evaluation of the Computer Fire Model DETACT-QS. In: Almand K., Coate C., England P., Gordon J. (eds.). *Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods. Proceedings of 4th International Conference, March 20–22, 2002, Melbourne, Australia*, pp. 241–252.
14. Merle G., Roussel J.-M., Lesage J.-J., Bobbio A., Vayatis N. Analytical calculation of failure probabilities in dynamic fault trees including spare gates. *European Safety and Reliability Conference (ESREL 2010)*. Rhodes, Greece, 2010.
15. Spiridonov I., Stepanyants A., Victorova V. Design testability analysis of avionic systems. *Reliability: Theory and Applications (RT&A)*, 2012, vol. 7, no. 03(26), pp. 66–73.
16. Meng F. S. Comparing Birnbaum importance measure of system components. *Probability in Engineering and Information Sciences*, 2004, vol. 18, no. 2, pp. 237–245. DOI: 10.1017/s0269964804182077.
17. Motorygin Yu. D., Lovchikov V. A., Dementyev F. A., Belshina Yu. N. *Prediction of dangerous fire factors: a training manual.* Saint Petersburg, Asterion Publ., 2013. 108 p. (in Russian).

For citation: Motorygin Yu. D. Modeling of the fire-dangerous modes in the power supply network of cars for decision-making when carrying out the fire investigation. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 9, pp. 45–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.45-51.