

УДК 656.25: 621.3.01

**К. А. Бочков, Д. В. Комнатный**

## **Подход к количественной оценке риска эксплуатации систем железнодорожной автоматики в сложной электромагнитной обстановке**

*Рассматривается научно-техническая проблема получения количественных оценок риска эксплуатации систем управления ответственными технологическими процессами в сложной электромагнитной обстановке. Намечен подход к решению этой проблемы для систем железнодорожной автоматики и телемеханики. На основе концепции безопасности и связи безопасности и электромагнитной совместимости выделены уровни анализа. Вероятность перерастания опасного отказа в аварию определяется путем анализа дерева событий. Влияние отказа микроэлектронного узла системы обеспечения безопасности движения на функциональную безопасность анализируется путем имитации отказов и построения дерева отказов. Вероятность сбоя микроэлектронного узла под влиянием электромагнитных помех определяется методом «нагрузка-устойчивость». В статье предложено выражение для расчета численной оценки риска эксплуатации системы в данной электромагнитной обстановке на разных уровнях анализа. Также предложены уровни нормирования риска. Для анализа нарушений безопасности на уровне цель/угроза введены рейтинги нарушений. Полученные в статье результаты имеют значение не только для железнодорожной отрасли, но и для критически важных объектов информатизации транспорта, промышленности и энергетики.*

**Ключевые слова:** риск, электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, безопасность, системы железнодорожной автоматики и телемеханики, концепция безопасности, метод «нагрузка-устойчивость», рейтинговые оценки отказов, численная оценка риска, нормирование риска

### **Введение**

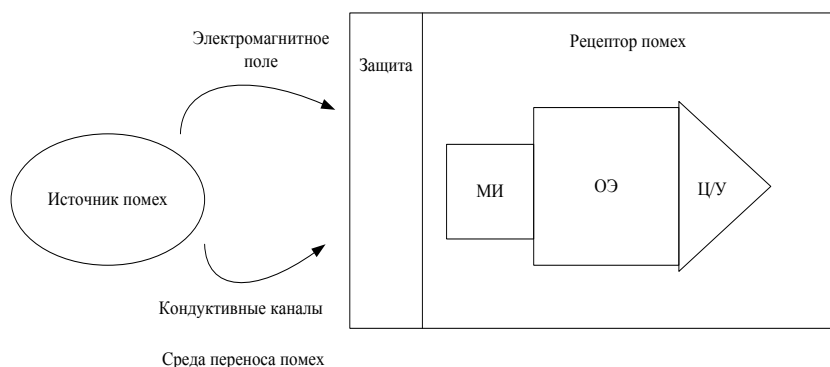
На современном этапе развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) происходит не просто широкое внедрение микропроцессорных и микроэлектронных систем, но переход к новым концепциям разработки и эксплуатации систем управления движением поездов – цифровизации и интеллектуализации. Это объясняется необходимостью на новом уровне решить две основные задачи функционирования железнодорожного транспорта: обеспечение требуемой провозной способности и высокого уровня безопасности движения поездов. Наиболее эффективным путем решения этих задач является создание комплексной системы управления и обеспечения безопасности движения поездов. В современных условиях повышение безопасности движения требует не только развития традиционных систем ЖАТ, но и привлечения дополнительных ресурсов на базе информационных технологий и цифровых систем. Таким образом, на базе микроэлектронных систем ЖАТ организуется система обеспечения безопасности движения, а на базе АСУ – система управления процессами перевозок. Взаимодействуя между собой, эти системы образуют комплексную систему управления; кроме того, независимо они выходят на региональный уровень управления. Следовательно, система управления процессами перевозок в настоящее время является единым комплексом, основанным на единой вычислительной среде и единой цифровой сети. В ней образуют три контура безопасности. Первый – централизованный, он заключается в централизации управления маршрутами и координатного управления в диспетчерском центре управления. Второй – децентрализованный, его образуют системы ЖАТ и технической диагностики. Третий – бортовой, в составе которого имеются системы автоматической локомотивной сигнализации и автоведения [1].

Практика разработки современных микроэлектронных и микропроцессорных СЖАТ из описанного комплекса свидетельствует о возрастающем риске эксплуатации таких систем в электромагнитной обстановке (ЭМО) на железнодорожных магистралях. Причинами такой ситуации в техническом плане являются рост чувствительности современной элементной базы, в том числе и в системах обеспечения безопасности движения (СОБД), ухудшение электромагнитной обстановки, тенденция использования в системах обеспечения безопасности коммерчески доступной аппаратуры. Причинами экономического плана являются требования снижения стоимости вновь разрабатываемых СЖАТ и затрат времени на разработку, стремление сокращать сроки тестирования оборудования СЖАТ на помехоустойчивость и помехозащищенность [2, 3]. Поэтому существует научно-техническая проблема анализа указанного риска и его оценки, как составной части анализа. Оценка риска – это процесс определения величины/меры риска для ситуации, связанной с реализацией той или иной опасности [4]. В [3] отмечается, что до настоящего времени отсутствуют количественные оценки для риска эксплуатации систем управления ответственными технологическими процессами в данной ЭМО. Следовательно, оказывается крайне затрудненной решение указанной проблемы в инженерной практике при разработке новых систем управления ответственными технологическими процессами, в том числе и СОБД.

Результаты цикла работ, выполненного в лаборатории «Безопасность и ЭМС» НИИЖТа при Белорусском государственном университете транспорта под руководством д. т. н., проф. К. А. Бочкова позволяют, с учетом наработок по надежности и безопасности СЖАТ известных авторов, наметить подход к разработке количественных оценок риска эксплуатации СОБД в сложной ЭМО. Описание этого подхода и является целью настоящей статьи.

### Описание предлагаемого подхода

Основой для предлагаемого подхода является концепция безопасности и связи безопасности и электромагнитной совместимости (ЭМС) представленная в [3]. В сводном виде эта концепция выражается рис. 1, приведенном в [3].



**Рис. 1. Концепция безопасности и связи безопасности и электромагнитной совместимости:**  
**МИ – механизм инициализации, ОЭ – опасный элемент, ЦУ – цель/угроза**

Целью/угрозой на железнодорожном транспорте являются: люди (персонал железной дороги и ее пассажиры), оборудование (вагоны, локомотивы, мосты, путь), система в целом (возможность исполнения графика движения поездов), окружающая среда (заражение опасными веществами из числа грузов). Последствия инцидента (аварии) на железнодорожном транспорте могут быть очень велики [5], поэтому необходима минимизация последствий нарушения функциональной безопасности СОБД. В связи с чем, целесообразно использовать вероятности наступления неблагоприятного события и производные от них величины, как оценки риска [6].

Нарушения функциональной безопасности СОБД приводит к инциденту при наличии неблагоприятной поездной ситуации и непринятия мер оператором. Поэтому необходимо оценить вероятность перерастания нарушения функциональной безопасности (опасного отказа) СОБД в аварию (инцидент). Для этого в [7, 8] разработан метод анализа деревьев событий аварийных последовательностей.

Опасными элементами при воздействии электромагнитных помех в СОБД являются микроэлектронные узлы в составе аппаратуры этих систем. Анализ функциональной безопасности этих узлов должен выявить влияние сбоев и отказов этих узлов на функциональную безопасность аппаратуры СОБД и вероятность нарушения функциональной безопасности этой аппаратуры. Для получения первого результата используется метод имитации неисправностей с помощью программных средств анализа электронных устройств и цепей [9]. Второй результат может быть получен путем анализа дерева отказов [4] или расчетными методами, разработанными в [10].

Механизм инициализации, в рассматриваемом случае, это воздействие электромагнитных помех на микроэлектронные узлы аппаратуры СЖАТ. Следует полагать, что уровни помех и помехоустойчивость узла, являются случайными величинами. Тогда каждое событие  $B_j$  успешного функционирования узла  $j$  под действием  $l$ -того типа помех можно представить следующим образом [11, 12]

$$B_j = G_{1j} \wedge G_{2j} \wedge G_{3j} \wedge \dots \wedge G_{lj}, \quad l \in (1..k), \quad (1)$$

где  $G_{lj}$  – событие успешного выполнения узлом  $j$  его функций под действием  $l$ -того типа помех;  $k$  – число помех, действующих на узел  $j$ .

Тогда вероятность успешного функционирования СОБД в данной электромагнитной обстановке

$$P(B) = 1 - \prod_{j=1}^m \left( \prod_{l=1}^k P(G_{lj}) \right), \quad (2)$$

где  $m$  – число узлов в данной СОБД,  $P(G_{lj})$  – вероятность отказа узла  $j$  под действием  $l$ -того типа помех.

Соответственно вероятность сбоя системы  $P_{сб}$  в данной ЭМО

$$P_{сб} = 1 - P(B) = Q(B). \quad (3)$$

Вероятности  $P(G_{lj})$  отказа (сбоя) аппаратуры микроэлектронных и микропроцессорных СЖАТ под воздействием электромагнитных помех могут быть вычислены методом «нагрузка-устойчивость».

Чтобы вывести соотношения для расчета вероятности сбоя устройства микроэлектронной СОБД в наиболее общем случае рассматривается множество параметров, характеризующих электромагнитную совместимость устройства  $R = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$  и множество параметров ЭМО для устройства  $N = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_p\}$ . Из множеств  $R$  и  $N$  можно выделить группы параметров  $X_1, X_2, \dots, X_r$  и  $Y_1, Y_2, \dots, Y_r$ ;  $r < k$ ,  $r < p$ , одновременно характеризующие как уровни ЭМС, так и уровень помехозащищенности устройства. Причем, если величина уровня помех по одному из параметров превысит уровень помехозащищенности по данному параметру  $Y_i - X_i > 0$ , то произойдет событие сбоя устройства. Таким образом, выделяется подмножество событий сбоев электронного устройства

$$S = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_r\}, \text{ где } Z_i = Y_i - X_i.$$

В общем случае элементы подмножества  $S$  представляют собой многомерные случайные функции параметров  $Z_i$ . Тогда вероятность сбоя может быть вычислена по формуле

$$P_{сб} = \int_{\varphi(Z_1, Z_2, \dots, Z_r) > 0} \dots \int f(Z_1, Z_2, \dots, Z_r, t) dZ_1 dZ_2 \dots dZ_r, \quad (4)$$

где  $f(Z_1, Z_2, \dots, Z_r)$  – многомерная совместная плотность распределения факторов, характеризующих многомерные случайные функции распределения уровня ЭМО и уровня помехозащищенности;  $\varphi(Z_i, t)$  – многомерная функция, характеризующая область сбоев устройства на интервале времени  $t$ .

Получение расчетных соотношений по выражению (4) невозможно в силу непреодолимых математических трудностей при использовании многомерных случайных функций.

Тем не менее, из всего множества параметров  $N$  и  $R$  можно выделить несколько определяющих. Тогда задачу расчета вероятности сбоя можно свести к решению двумерных случайных функций  $N(Y, t)$  – характеризующих уровень помех, и  $R(X, t)$ , характеризующих уровень помехоустойчивости.

$$P_{сб} = P\{[N(Y, t), R(X, t)] \in S\}. \quad (5)$$

Существуют квазистационарные интервалы реализаций, отражающие наиболее неблагоприятную ЭМО. Тогда по принципу наихудших условий можно перейти к рассмотрению сечений случайных процессов по наиболее неблагоприятным параметрам. В этом случае вероятность сбоя опре-

деляется как площадь под кривыми функций плотности распределения величины уровня помех и уровня помехозащищенности  $f_N(Y)$ ,  $f_R(X)$ , (рис. 2).

$$P_{\text{сб}} = P\{[f_N(Y), f_R(X)] \in S\}, \quad (6)$$

где  $S = y - x$ ,  $S > 0$  – условие сбоя микросэлектронного устройства.

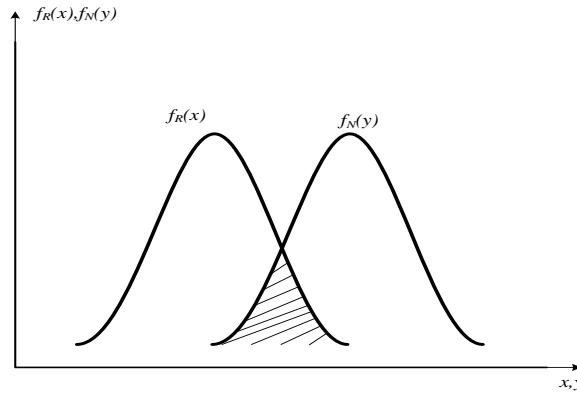


Рис. 2. Вычисление вероятности сбоя по функциям плотности распределения уровня помех и помехоустойчивости

В общем случае вероятность сбоя можно определить, как вероятность того, что уровень помех выше уровня помехоустойчивости. Величины уровней помех и уровня помехоустойчивости рационально описывать величинами, имеющими одинаковую размерность, поэтому эти величины обозначаются  $X_N$  и  $X_R$  соответственно. Принимается, что уровень помех и уровень помехоустойчивости являются независимыми случайными величинами. Тогда, если уровень помехоустойчивости находится в интервале  $X_{Ri} - dX < X_{Ri} < X_{Ri} + dX$ , и рассматривается вероятность превышения уровнем помех этого уровня помехоустойчивости, то указанная вероятность сбоя вычисляется по формуле [13]

$$P_{\text{сб}} = P(X_N < X_R) = \int_0^{\infty} f(X_R) \left[ \int_{X_R}^{\infty} f(X_N) dX_N \right] dX_R. \quad (7)$$

Согласно действующей нормативно-технической документации по испытаниям аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики на ЭМС, эта аппаратура не должна иметь сбоев при уровне помехоустойчивости, равном степени жесткости испытаний  $X_{\text{ж}}$ , установленной для данной аппаратуры. Это означает, что уровень помехоустойчивости попадает в бесконечно малый интервал  $X_{\text{ж}} - dX < X_{\text{ж}} < X_{\text{ж}} + dX$  с вероятностью, равной единице. Следовательно, из (7) следует, что вероятность сбоя определяется по формуле

$$P_{\text{сб}} = P(X_N < X_R) = P(X_N < X_{\text{ж}}) = \int_{X_{\text{ж}}}^{\infty} f(X_N) dX_N. \quad (8)$$

Формула (8) показывает, что вероятность сбоя является вероятностью превышения уровнем помех установленной степени жесткости испытаний на устойчивость к электромагнитным помехам. На рис. 3 показана графическая интерпретация выражения (8).

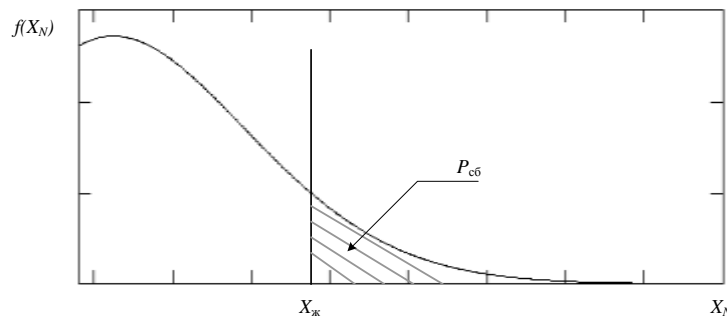


Рис. 3. Расчет вероятности сбоя, как вероятности превышения уровня жесткости испытаний

Таким образом, выражение (8) является частным случаем общей математической модели ЭМС, учитывающей вероятностную природу уровня помех и уровня помехозащищенности. Тем не менее, выражение (8) соответствует действующей нормативно-технической базе, поэтому преимущественно используется при анализе ЭМС систем железнодорожной автоматики. Интенсивность помех в составе ЭМО на местах эксплуатации аппаратуры указанных систем такова, что вероятностью превышения степени жесткости испытаний нельзя пренебрегать. Кроме того, в существующей научно-технической документации не учитывается совместное действие помех различного происхождения в реальной ЭМО на месте эксплуатации систем ЖАТ.

Из (7) и (8) следует, что неотъемлемой составляющей методики количественной оценки риска являются модели распространения помех в среде переноса помех. С помощью этих моделей рассчитываются параметры законов распределения характеристики помех в рецепторах. Такие модели разрабатываются давно, и в настоящее время имеется достаточное количество таких моделей [14–16].

На всех этапах анализа первоначальной мерой риска эксплуатации СОБД в данной ЭМО является вероятность сбоя, отказа, аварии.

Для СОБД такая мера является наиболее адекватной, поскольку:

- отказы или сбои в СОБД случаются с очень малой интенсивностью, но последствия каждого отказа могут нести значительную опасность;
- последствия отказа или сбоя столь велики, что необходимо минимизировать возможность отказа или сбоя;
- экономические последствия отказа или сбоя чрезвычайно велики;
- существует угроза здоровью и жизни большого числа людей (пассажиров и работников железной дороги).

Тем не менее, этот способ оценки риска вызывает затруднения при нормировании. В [17] предложена количественная оценка чисто вероятностного характера, применимая на всех этапах анализа, рассмотренных выше, удобная для нормирования. Она осуществляется по формуле

$$\rho = \frac{1}{\frac{1}{P_{сб}} - 1}. \quad (12)$$

В [17] обоснованы граничные значения риска  $\rho$  по (12), которые определяют области нормальной и аварийной работы технической системы и позволяют нормировать значения риска при эксплуатации СЖАТ:  $0 < \rho < 1$  – ограниченная безопасность;  $\rho = 1$  – критическое состояние, наличие отказов;  $\rho > 1$  – опасное состояние, угроза аварии;  $\rho \gg 1$  – запредельное состояние, угроза катастрофы.

Для сравнительного анализа нарушений безопасности на уровне цель/угроза вводятся понятия рейтингов нарушений [7].

Рейтинг

$$R = \sum_{l=1}^L Q_l$$

отражает вероятность развития данного опасного отказа по всем  $L$  возможным аварийным последовательностям. В данном случае  $Q_l$  – вероятность развития одной аварийной последовательности из всех принятых во внимание.

Максимальный рейтинг  $R_{\max} = \max(Q_l)$  отражает вероятность развития наиболее вероятной аварийной последовательности для данного опасного отказа.

Средний рейтинг  $R_{\text{mdl}} = R/L$  отражает вероятность развития всех возможных аварийных последовательностей для данного опасного отказа.

Таким образом, рейтинги нарушений отражают всю цепочку перерастания нарушения функциональной безопасности (опасного отказа) в СОБД в аварию (инцидент) и учитывают все этапы развития этого процесса в интегральном виде.

## Выводы

Представленная методика анализа и оценки риска на разных этапах развития инцидентов при эксплуатации микроэлектронных и микропроцессорных СОБД в данной ЭМО позволяет заключить, что на ее базе могут быть получены количественные характеристики риска эксплуатации СОБД в

данной ЭМО. Эти характеристики находят соответствие в теории безопасности сложных систем [7], следовательно, их применение имеет под собой существенное основание. Математический аппарат методики заключается в анализе деревьев событий и методе «нагрузка-устойчивость», которые хорошо обоснованы.

Изложенная методика вероятностного анализа помехоустойчивости позволяет учитывать структуру системы, свойства элементной базы, типы помех, воздействующих на систему, характеристики каждого типа помех. В ней отражена вероятностная природа, как параметров помех, так и параметров помехоустойчивости систем. Методика позволяет оценивать и помехоустойчивость, и последствия воздействия помех на эти системы путем расчета риска эксплуатации.

Частный случай методики соответствует действующей нормативно-технической документации и требованиям по ЭМС СЖАТ. Как и общий вариант, он учитывает свойства ЭМО на месте эксплуатации оборудования СЖАТ и позволяет оценивать последствия воздействия помех на системы ЖАТ путем расчета вероятности сбоя под действием помех и риска эксплуатации в осложненной ЭМО.

Поэтому получаемые по предлагаемой методике результаты можно считать достаточно адекватными.

Тогда допустимо сделать общий вывод: предлагаемый в статье подход позволяет получить количественные оценки риска эксплуатации в ЭМО, соответствующей реальным условиям эксплуатации СОБД, и, тем самым решить крупную научно-техническую проблему. Полученные результаты являются актуальными и востребованными не только в железнодорожной отрасли, но и для анализа риска эксплуатации критически важных объектов информатизации в разных отраслях экономики.

### Список литературы

1. Рогачева И. Л. Эксплуатационная надежность систем электрической централизации нового поколения. – М. Маршрут, 2006. – 230 с.
2. Соколов С. А. Воздействие внешних электромагнитных полей на оптические кабели связи и гибридные линии. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 218 с.
3. Кечиев Л. Н. Электромагнитная несовместимость: опасности, катастрофы, риски. – М. Грифон, 2022. – 544 с.
4. Малкин В. С. Надежность технических систем и техногенный риск. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 432 с.
5. Казаков А. А., Алешин В. Н., Казаков Е. А. Аварии на стальных магистралях. – М.: Транспорт, 1993. – 110 с.
6. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. – М.: Мир, 1980. – 208 с.
7. Александровская Л. М. Безопасность и надежность технических систем. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 378 с.
8. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 232 с.
9. Харлап С. Н. Разработка микропроцессорного модуля управления для системы железнодорожной автоматики. – Гомель: БелГУТ, 2015. – 175 с.
10. Шубинский И. Б., Замышляев А. М., Проневич О. Б. Графовый метод оценки производственной безопасности на объектах железнодорожного транспорта. – Надежность. – 2017. – т. 17. – № 1. – С. 46 – 52.
11. Острейковский В. А., Швыряев Ю. В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. – М.: Физматлит, 2008. – 252 с.
12. Шибанов Г. П. Обитаемость космоса и безопасность пребывания в нем человека. – М.: Машиностроение, 2007. – 544 с.
13. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
14. Кравченко В. И. Грозозащита радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1990. – 261 с.
15. Князев А. Д., Кечиев Л. Н., Петров Б. В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной техники с учетом электромагнитной совместимости. – М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
16. Ognusola A., Mariscotti A. Electromagnetic Compatibility in Railways– Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. – 544 p.

17. Сосновский Л. А. Риск. Механотермодинамика необратимых повреждений. – Гомель: БелГУТ, 2004. – 317 с.

*Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ). Республика Беларусь, Гомель, ул. Кирова, 34, 246653.*

#### **Авторы**

**Бочков Константин Афанасьевич**, Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ). Республика Беларусь, Гомель, ул. Кирова, 34, 246653. Доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика», bochkov1999@mail.ru, (375-232) 31-90-12.

**Комнатный Дмитрий Викторович**, Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ). Республика Беларусь, Гомель, ул. Кирова, 34, 246653. Докторант кафедры «Автоматика и телемеханика», toe4031@gstu.by, (375-232) 40-18-27.

*Bochkov K. A., Komnatny D. V.*

#### **The Method of Approach for Quantitative Risk Estimation for Railway Automatic Systems Operation in Complicated Electromagnetic Environment**

**Abstract.** Technical-scientific problem of quantitative risk estimation obtaining for responsible technical processes control systems operation in complicated electromagnetic environment is discussed. The method of approach for this problem decision for railway automatic systems is outlined. The levels of analysis are ear-marked based on safety conception. The probability of dangerous failure development into break-down is defined by event-tree analysis. The influence of microelectronic units of traffic security ensuring systems on functionality security is analyzed by failure imitation and failure-tree construction. The probability of microelectronic unit failure under the influence of electromagnetic interferences is determined by load-stability method. Expression for numerical estimation for risk of operation in given electromagnetic environment are proposed for different analysis levels. Levels for risk valuation are proposed too. Rating estimations for safety violation analysis on aim/danger level are introduced. The results, obtained in the article, are of great importance not only for railways, but for critically important informatization objects.

**Key words:** risk, electromagnetic environment, electromagnetic compatibility, safety, railway automatic systems, safety conception, “load-stability” method, rating estimation of failure, quantitative risk estimation, risk valuation

#### **References**

1. Rogacheva I. L. *Ekspluatatsionnaia nadezhnost' sistem elektricheskoi tseentralizatsii novogo pokoleniia* [Operational reliability of intreloking systems of new generation] Moscow, Marshrut Publ., 2006. – 230 p. (In Russian).
2. Sokolov S. A. *Vozdeistvie vneshnikh elektromagnitnykh polei na opticheskie kabeli sviazi i gibridnye linii* [The influence of external electromagnetic fields on optical communication cables and hybrid lines] Moscow, «Giraichaia linija –Tlecom» Publ., 2018. – 218 p. (In Russian).
3. Kechiev L. N. *Elektromagnitnaia nesovmestimost': opasnosti, katastrofy, riski* [Electromagnetic non-compatibility: dangers, catastrophes, risks] Moscow, Grifon Publ., 2022. – 544 p. (In Russian).
4. Malkin V. S. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk* [Reliability of technical sustems and technogenic risk]. Rostov-on-Don, Phoenix Publ., 2021. – 452 p. (In Russian).
5. Kazakov A.A., Aleshin V. N., Kazakov E. A. *Avarii na stal'nykh magistraliakh* [Breakdowns on railways] Moscow, Transport Publ., 1993. – 110 p. (In Russian).
6. Muschick E., Müller P. H. *Entscheidungspraxis* Berlin, VEB Verlag Technik, 1980. – 208 p.
7. Aleksandrovskaia L. M. [et al] *Bezopasnost' i nadezhnost' tekhnicheskikh sistem* [Safety and reliability of technical systems]. Moscow, «Universitetskaja kniga. Logos» Publ., 2008. – 378 p. (In Russian).
8. Lisenkov V. M. *Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poezdov* [Statistical theory of train traffic safety]. Moscow, VINITI RAS, 1999. – 232 p. (In Russian).

9. Kharlap S. N. *Razrabotka mikroprotsessornogo modulia upravleniia dlia sistemy zheleznodorozhnoi avtomatiki* [Microprocessor control unit development for railway automatic system]. Gomel, BelGUT, 2015. – 175 p. (In Russian).
10. Shubinsky I. B., Zamyshlyayev A. M., Pronevich O. B. *Grafovyy metod otsenki proizvodstvennoi bezopasnosti na ob'ektakh zheleznodorozhnogo transporta* [A graph method for assessing industrial safety at railway transport facilities]. *Nadezhnost' – Reliability*, 2017, vol 17, no. 1, pp. 40–45. (In Russian).
11. Ostrejkovski V. A., Shvyriaev Ju. V. *Bezopasnost' atomnykh stantsii. Veroiatnostnyi analiz* [Atomic power stations safety. Probabilistic approach] Moscow, Fizmathlit Publ., 2008. – 252 p. (In Russian).
12. Sibanov G. P. *Obitaemost' kosmosa i bezopasnost' prebyvaniia v nem cheloveka* [Space inhabitation and safety of man stay in space] Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007. – 544 p. (In Russian).
13. Kapur K. C., Lamberson L. R. *Reliability in Engineering Design*. New York, John Wiley and Sons. 1978. 604 p.
14. Kravchenko V. I. *Grozozashchita radioelektronnykh sredstv* [Lightning-discharge protection of radio electronic aids]. Moscow, Radio i svjaz Publ., 1990. – 261 p. (In Russian).
15. Knjazev A. D., Kechiev L. N., Petrov B. V. *Konstruirovaniye radioelektronnoi i elektronno-vychislitel'noi tekhniki s uchetom elektromagnitnoi sovmestimosti* [The design of radio electronic and computational equipment with due regard for electromagnetic compatibility]. Moscow, Radio i svjaz Publ., 1981. – 224 p. (In Russian).
16. Ognusola A., Mariscotti A. *Electromagnetic Compatibility in Railways*. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag. 2013. – 544 p.
17. Sosnovsky L. A. *Risk. Mekhanotermodinamika neobratimyykh povrezhdenii* [Risk. Mechanothermodynamics of irreversible damage]. Gomel, BelGUT, 2004. – 317 p. (In Russian).

*Byelorussian State University of Transport (BelGUT) Republic of Belarus, Gomel, Kirova str., 34, 246653.*

#### **Authors**

**Bochkov Konstantin A.**, Byelorussian State University of Transport (BGUT), 34 ul. Kirov, 246653, Gomel, Belarus Republic. Professor of «Automatic telemechanic and communication» department, bochkov1999@mail.ru, ( 375-232) 31-90-12.

**Komnatny Dmitry V.**, Byelorussian State University of Transport (BGUT), 34 ul. Kirov, 246653, Gomel, Belarus Republic. Doctoral student of «Automatic telemechanic and communication» department, toe4031@gstu.by, ( 375-232) 95-39-56.