

УДК 621.396

DOI: 10.24160/1993-6982-2020-6-76-81

Перекрестные помехи в электрических жгутах с неоднородностями экранов

Нгуен Ван Тай, В.Ю. Кириллов

Приведены результаты экспериментального исследования перекрестных помех между витыми парами проводников макета электрического жгута.

Цель исследования заключается в определении уровней перекрестных помех экранированной витой пары при наличии неоднородности в виде зазора между экраном проводников электрического жгута и корпусом электрического соединителя.

Работы проводили на макете электрического жгута, состоящего из экранированной и неэкранированной витых пар проводников. Неэкранированная витая пара проводников использована как источник перекрестных помех. Экранированная витая пара проводников имела зазор между экраном проводников и электрическим соединителем и являлась рецептором перекрестных помех. Для изучения уровней перекрестных помех длина зазора экранированной витой пары проводников менялась.

Определены уровни перекрестных электромагнитных помех для зазоров различной длины. Исследовано влияние электропроводного соединения, создаваемого с помощью перемычки в зазоре между экраном витой пары проводников и корпусом электрического соединителя макета электрического жгута, на уровни перекрестных помех. Проведен сравнительный анализ результатов измерения уровней перекрестных помех экранированной витой пары проводников с неоднородностями в виде зазоров разной длины с уровнями перекрестных помех экранированной витой пары проводников с однородным экраном. Сформулировано заключение о необходимости соблюдения соединения экранов проводников электрических жгутов с корпусами электрических соединителей без зазоров.

Ключевые слова: перекрестные электромагнитные помехи, экраны, электрические жгуты и соединители.

Для цитирования: Нгуен Ван Тай, Кириллов В.Ю. Перекрестные помехи в электрических жгутах с неоднородностями экранов // Вестник МЭИ. 2020. № 6. С. 76—81. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-6-76-81.

Crosstalk in Electrical Wire Bundles with Shield Heterogeneities

Nguyen Van Tai, V.Yu. Kirillov

The results from an experimental study of crosstalk interference between twisted pairs of conductors of an electrical wire bundle model are presented. The aim of the study is to determine the crosstalk interference levels in a shielded twisted pair of conductors when there is heterogeneity in the form of a gap between the shield of bundle conductors and the electrical connector body. The studies were carried out on the electrical wire bundle mockup consisting of shielded and unshielded twisted pairs of conductors. The unshielded twisted pair of conductors was used as a source of crosstalk interference. The shielded twisted pair of conductors had a gap between the shield of conductors and the electrical connector body and was a receptor for the crosstalk interference. To study the crosstalk interference levels, the gap length of the shielded twisted pair of conductors was varied. As a result of the study, the crosstalk interference levels for gaps of different lengths were determined. The effect of an electrically conducting connection made using a jumper in the gap between the shield of a twisted pair of conductors and the electrical connector body of the electrical wire bundle mockup on the crosstalk interference levels was studied. A comparative analysis of the results obtained from measurements of the crosstalk interference levels in a shielded twisted pair of conductors with heterogeneities in the form of gaps of different lengths with the crosstalk interference levels in a shielded twisted pair of conductors with a homogeneous shield is carried out. A conclusion about the need to ensure connection of the shields of electrical bundle conductors with the bodies of electrical connectors without gaps has been formulated.

Key words: crosstalk electromagnetic interference, shields, electrical wire bundles, electrical connectors.

For citation: Nguyen Van Tai, Kirillov V.Yu. Crosstalk in Electrical Wire Bundles with Shield Heterogeneities. Bulletin of MPEI. 2020;6:76—81. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2020-6-76-81.

Введение

Бортовая сеть электротехнического комплекса летательного аппарата состоит из большого числа экранированных и неэкранированных проводников, объединенных в электрические жгуты и предназначенных для передачи и распределения энергии, информационных и управляющих сигналов. Из-за наличия емкостных и индуктивных связей между ними возникают перекрестные помехи, которые нарушают условия электромагнитной совместимости проводников в электрических

жгутах, снижают качество функционирования бортовых приборов и устройств электротехнических комплексов [1 — 6]. При формировании электрических жгутов бортовой сети летательных аппаратов помимо схематических, электротехнических, энергетических исходных данных и особенностей конструкции следует учитывать перекрестные помехи между проводниками, объединенными в электрические жгуты. Для ослабления перекрестных помех проводники в жгутах экранируют, и уровни помех зависят от эффективности экранирования. Применение плетеных

экранов для витых пар во многих случаях позволяет достигнуть значительного уменьшения уровня перекрестных помех [7 — 11]. В жгуте, состоящем из экранированных проводников, на эффективность ослабления перекрестных помех влияют параметры экрана, величина переходных сопротивлений контактов между экранами и электрическими соединителями и наличие неоднородностей [12, 13]. Неоднородности экранов выглядят как зазоры между участками экранов и корпусами электрических соединителей. Их наличие ведет к появлению неэкранированных, а следовательно, и незащищенных от воздействия перекрестных помех участков проводников. Пример электрического жгута с зазором между экранами проводников и электрическим соединителем приведен на рис. 1.

В соответствии с требованием стандарта экраны проводников жгута и корпуса электрических соединителей должны быть металлизированы, т.е. иметь электропроводное соединение, например, с помощью перемычки с переходным сопротивлением не более 0,2 мОм [14]. Перемычка в зазоре между экраном проводников жгута и электрическим соединителем обеспечивает электропроводное соединение экрана жгута с корпусом соединителя, но при этом недостаточно эффективно защищает проводники от воздействия перекрестных помех. На практике встречаются случаи монтажа жгутов с неоднородностями экранов, когда с одной стороны жгута отсутствует электропроводное соединение в виде перемычки между экраном проводников и электрическим соединителем. Очевидно, что неоднородности экранов являются участками проникновения и распространения перекрестных помех в проводниках жгутов электротехнических комплексов летательных аппаратов.

Постановка задачи

В связи с тем, что зазоры между экранами проводников и корпусами электрических соединителей ведут к проникновению и распространению перекрестных помех, возникает необходимость исследования в широком частотном диапазоне зависимости уровней перекрестных помех от наличия зазора и его размеров. Учитывая то, что возможны случаи отсутствия или

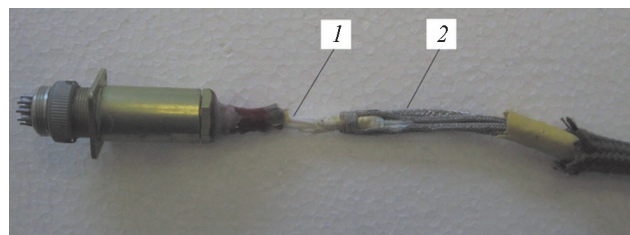


Рис. 1. Электрический жгут с зазором между экранами проводников и корпусом электрического соединителя:
1 — зазор; 2 — плетеные экраны проводников электрического жгута

нарушения электропроводного соединения в зазорах между экранами и корпусами соединителей, практическое значение имеет оценка для данных случаев уровней перекрестных помех.

Метод исследования

Для исследования перекрестных помех использован макет электрического жгута, составленный из двух витых пар проводников: неэкранированной (витая пара 1) и экранированной (витая пара 2). Электрическая схема макета электрического жгута проводников дана на рис. 2.

В схеме макета неэкранированная витая пара подключена к генератору и является источником перекрестных помех. Экранированная пара с неоднородностью экрана в виде зазора между экраном и корпусом электрического соединителя (рецептор перекрестных помех) подключена к измерительному приемнику для определения уровней перекрестных помех.

Витые пары проводников длиной 1 м нагружены на экранированные сопротивления 50 Ом. Между экраном витой пары 2 и корпусом электрического соединителя со стороны подключения к измерительному приемнику зазор отсутствует, и экран витой пары имеет электрический контакт по всему контуру корпуса электрического соединителя. Зазор образован между экраном витой пары 2 и корпусом электрического соединителя со стороны подключения к витой паре сопротивления нагрузки.

Для изучения влияния размеров зазора между экраном витой пары 2 и корпусом электрического соединителя на уровень перекрестной помехи длину зазора меняли. Опыты проходили для зазоров длиной 20, 50, 100 и 200 мм путем прямого подключения неэкранированной витой пары проводников к высокочастотному «tracking» генератору, входящему в состав измерительного приемника HMS-X. Выходная мощность «tracking» генератора — 0 дБм, (1 МВт), что создает напряжение на нагрузку в 50 Ом (107 дБмкВ, ~224 мВ).

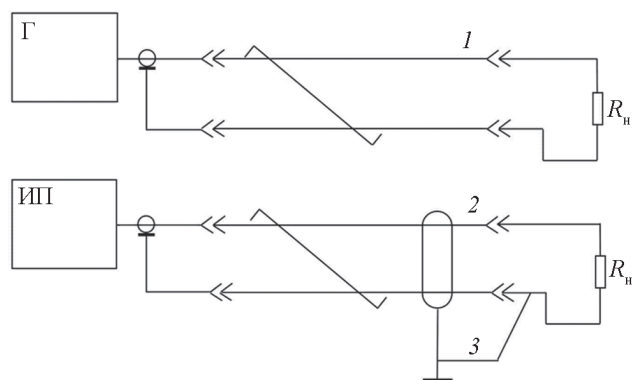


Рис. 2. Электрическая схема макета электрического жгута для исследования перекрестных помех витых пар проводников:
1 — неэкранированная пара (витая пара 1); 2 — экранированная пара (витая пара 2); 3 — перемычка; Г — генератор; ИП — измерительный приемник; R_n — сопротивление нагрузки

Напряжение перекрестной помехи на витой паре 2 измеряли с помощью синхронизированного с генератором измерительного приемника, работающего в режиме спектроанализатора в регулируемом частотном диапазоне от 100 кГц до 1000 МГц. Уровни перекрестной помехи витой пары 2 замерыли, как при соединении электропроводной перемычкой («косичкой») экрана и корпуса электрического соединителя, так и при отсутствии соединения.

Результаты

На рисунке 3 приведены частотные диаграммы перекрестных помех экранированной витой пары 2 макета электрического жгута. Частотной диаграмме 1 соответствует перекрестная помеха витой пары 2 с экраном без зазоров при наличии электропроводного контакта с двух сторон концов экрана с корпусами электрических соединителей. Величина переходного сопротивления контактов удовлетворяет требованиям стандарта [14]. Частотная диаграмма 2 соответствует перекрестной помехе экранированной витой пары 2 с зазором длиной 20 мм. Экран пары соединен с корпусом электрического соединителя электропроводной перемычкой в соответствии с требованиями [14]. Для сравнения на рис. 3 дана частотная диаграмма 3 перекрестной помехи витой пары 2 без экрана. На рисунке 4 продемонстрированы частотные диаграммы перекрестных помех экранированной витой пары номер 2 с зазорами длиной 50, 100 и 200 мм. Зазоры созданы с одной стороны макета при условии соединения электропроводной перемычкой экрана витой пары 2 с корпусом электрического соединителя. Переходное сопротивление электропроводных перемычек для разных длин зазоров удовлет-

воряет требованиям стандарта [14]. На рисунке 5 изображены частотные диаграммы перекрестных помех витой пары 2 макета электрического жгута с зазорами с одной стороны макета жгута длиной 20, 50 и 100 мм, без электропроводных перемычек между экраном и корпусом электрического соединителя.

Из анализа частотной диаграммы 2 на рис. 3 следует, что для неэкранированной витой пары 2 перекрестная помеха достигает максимального значения 103 дБмкВ (~141 мВ), что составляет 0,63 от напряжения, создаваемого генератором в цепи витой пары 1. Экранирование витой пары 2 гибким плетеным экраном без зазоров с обеих концов электрического жгута значительно уменьшает уровни перекрестной помехи на всем частотном диапазоне. Максимальное значение перекрестной помехи на частотной диаграмме 3 для экранированной витой пары 2 составляет 71 дБмкВ (~4 мВ). Как следует из частотной диаграммы 2 на рис. 3, максимальное значение перекрестной помехи в случае, когда экран витой пары 2 имеет зазор длиной $l = 20$ мм и соединен электропроводной перемычкой с корпусом электрического соединителя, составляет 95,3 дБмкВ (~58 мВ). Появление зазора между экраном витой пары 2 и корпусом электрического соединителя даже при наличии электропроводной перемычки приводит к значительному росту максимального значения перекрестной помехи по отношению к максимальному значению перекрестной помехи экранированной витой пары 2 без зазора.

Изучение частотных диаграмм на рис. 4 говорит о том, что при дальнейшем увеличении длины зазора экрана витой пары 2 происходит рост уровня перекрестной помехи. Диаграммы на рис. 4 получены при

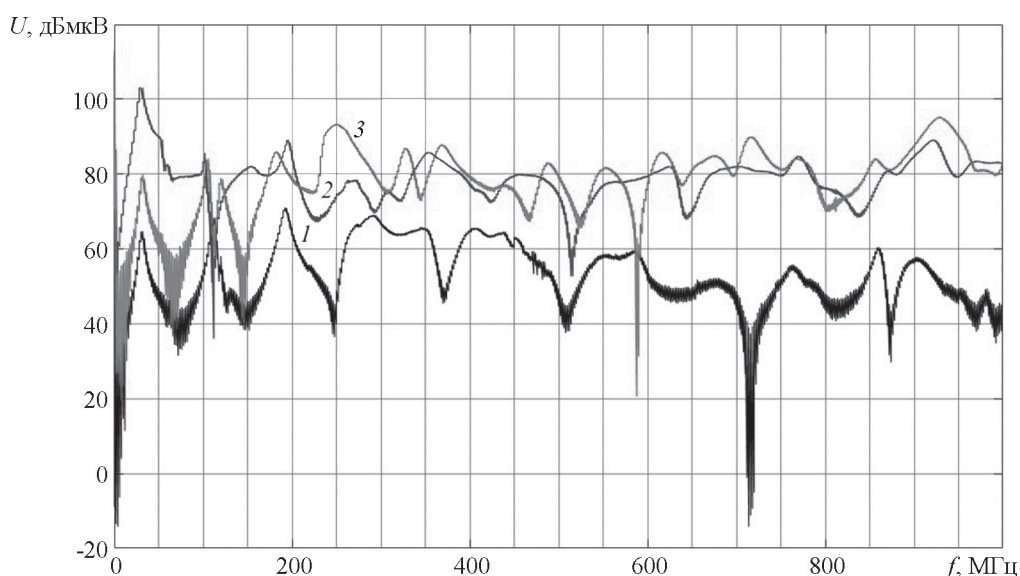


Рис. 3. Частотные диаграммы перекрестных помех витой пары 2 макета электрического жгута:

1 — перекрестной помехи экранированной витой пары 2 при отсутствии зазоров между экраном и корпусом электрического соединителя; 2 — перекрестной помехи неэкранированной витой пары 2; 3 — перекрестной помехи экранированной витой пары 2 с зазором длиной 20 мм и электропроводной перемычкой между экраном проводников и корпусом электрического соединителя

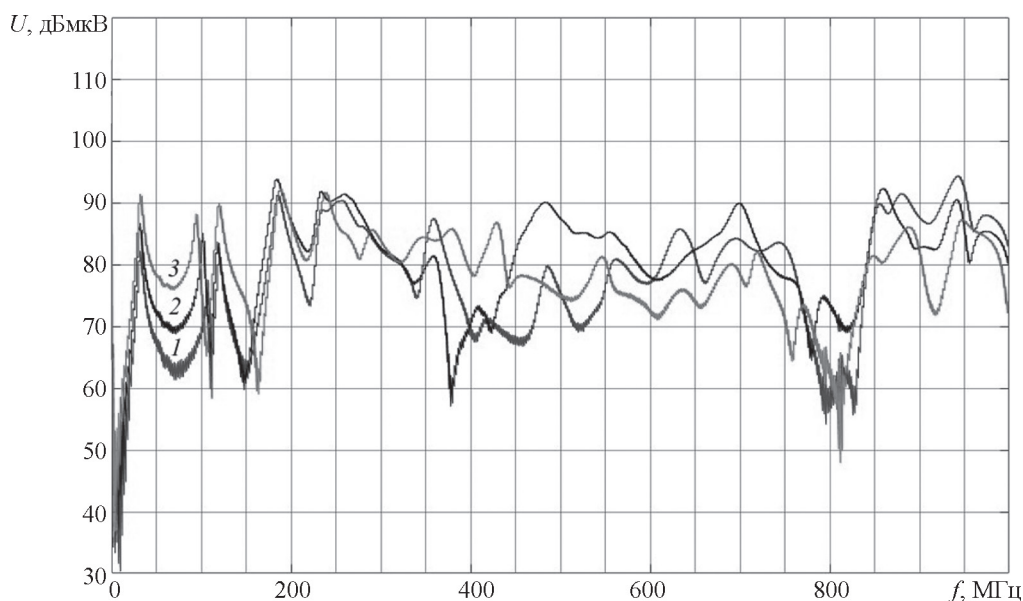


Рис. 4. Частотные диаграммы перекрестных помех экранированной витой пары 2 макета электрического жгута с зазорами 50 (1), 100 (2), 200 (3) мм и электропроводной перемычкой в между экраном и корпусом электрического соединителя

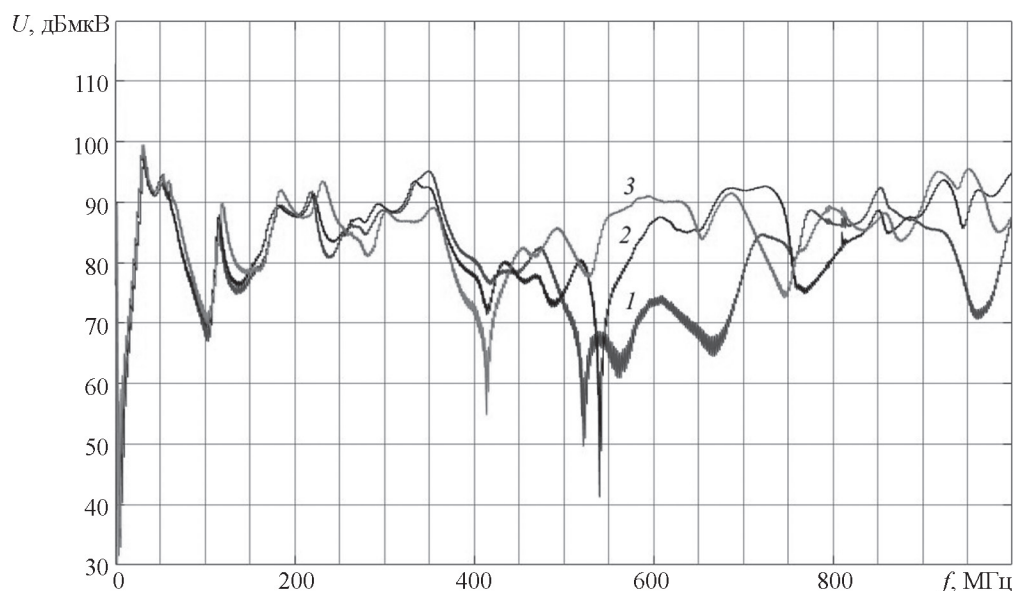


Рис. 5. Частотные диаграммы перекрестных помех экранированной витой пары 2 макета электрического жгута с зазорами 20 (1), 50 (2), 100 (3) мм без электропроводной перемычки между экраном проводников электрического жгута и корпусом электрического соединителя

условии, что экран витой пары 2 соединен (независимо от длины зазора) электропроводной перемычкой с корпусом электрического соединителя. При длинах зазора 50, 100 и 200 мм максимальные значения перекрестной помехи составляют: $U_n = 94,4$ дБмкВ (~53 мВ), $U_n = 93,9$ дБмкВ (~50 мВ), $U_n = 93$ дБмкВ (~45 мВ). Максимальные значения перекрестных помех при различных длинах зазоров значительно превышают максимальное значение перекрестной помехи витой пары 2 с экраном без зазоров. Сравнение максимальных значений перекрестных помех для различных длин зазоров позволяет сделать вывод о том, что на величину

перекрестной помехи в данном случае влияет не длина зазора, а факт его наличия.

Наибольших уровней перекрестная помеха достигает в случае, когда экран витой пары 2 не соединен перемычкой с корпусом электрического соединителя. Максимальные значения уровней перекрестных помех, частотные диаграммы которых приведены на рис. 5, для различных длин зазора (20, 50, 100 мм) в отсутствии соединения электропроводной перемычкой экрана и корпуса электрического соединителя равны: $U_n = 95,2$ дБмкВ (~58 мВ), $U_n = 98,4$ дБмкВ (~83 мВ), $U_n = 99,5$ дБмкВ (~94 мВ). Из сравнения по-

лученных результатов с результатами измерения в предыдущих случаях видно, что при отсутствии соединения электропроводной перемычкой экрана витой пары и корпуса электрического соединителя максимальные значения перекрестной помехи увеличиваются.

Заключение

Наличие неоднородностей экранов витых пар макета электрического жгута в виде зазора между экраном витой пары проводников и корпусом электрического соединителя, соединенных электропроводной перемычкой, приводит к более высоким уровням перекрестных помех по сравнению с уровнями перекрестных помех экранированной витой пары без зазоров.

Из полученных результатов измерений следует, что увеличение длины зазора от 20 до 200 мм не оказывает

пропорционального влияния на максимальное значение уровней перекрестных помех. На возрастание максимальных значений уровней перекрестных помех витой пары с зазором по отношению к уровням помех полностью экранированной витой пары влияет факт наличия зазора. Наибольший рост уровней перекрестных помех происходит при отсутствии электропроводной перемычки между экраном витой пары и корпусом электрического соединителя. Образование зазоров при монтаже электрических жгутов, состоящих из экранированных пар проводников, даже при наличии электропроводных перемычек между экранами витых пар проводников и электрическими соединителями приводит к появлению перекрестных помех уровни которых могут снижать качество функционирования бортовых приборов и устройств электротехнических комплексах летательных аппаратов.

Литература

1. Кириллов В.Ю., Марченко М.В., Томилин М.М. Электромагнитная совместимость бортовой кабельной сети летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 2014.
2. Уилльямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. М.: Издат. дом «Технологии», 2003.
3. Уилльямс Т., Армстронг К. ЭМС для систем и установок. М.: Издат. дом «Технологии», 2004.
4. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К., Кузечкин И.П., Жуков А.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. М.: Энергоатомиздат, 2003.
5. Ott H.W. Electromagnetic Compatibility Engineering. N.-Y.: John Wiley&Sons, 2009.
6. Барнс Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами. М.: Мир, 1990.
7. Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранированные системы. М.: ООО «Группа ИДТ», 2010.
8. Кечиев Л.Н. Экранирование радиоэлектронной аппаратуры. М.: Гриффон, 2019.
9. Celozzi S, Araneo R., Lovat G. Electromagnetic Shielding. N.-Y.: John Wiley&Sons, 2008.
10. Morrison R. Grounding and Shielding. Circuits and Interference. N.-Y.: John Wiley&Sons, 2007.
11. Shulz R.B., Plantz V.C., Drush D.R. Shielding Theore and Practice // IEEE Trans EMC. 1988. V. 30. No. 3. Pp. 187—201.
12. Жуков П.А., Марченко М.В., Кириллов В.Ю. Влияние переходного сопротивления на эффективность экранирования бортовой кабельной сети летательных атмосферных и космических аппаратов // Вестник МАИ. 2017. Т. 24. № 3. С. 121—126.
13. Жуков П.А., Кириллов В.Ю., Марченко М.В. Влияние способов соединения экранов кабеля с электрическим соединителем на эффективность экранирования // Вестник МЭИ. 2019. № 2. С. 50—56.

References

1. Kirillov V.Yu., Marchenko M.V., Tomilin M.M. Elektromagnitnaya Sovmestimost' Bortovoy Kabel'noy Seti Letatel'nykh Apparatov. M.: Izd-vo MAI, 2014. (in Russian).
2. Uill'yams T. EMS dlya razrabotchikov Produktsii. M.: Izdat. Dom «Tekhnologii», 2003. (in Russian).
3. Uill'yams T., Armstrong K. EMS dlya Sistem i Ustanovok. M.: Izdat. Dom «Tekhnologii», 2004. (in Russian).
4. D'yakov A.F., Maksimov B.K., Borisov R.K., Kuzhekin I.P., Zhukov A.V. Elektromagnitnaya Sovmestimost' v Elektroenergetike i Elektrotekhnike. M.: Energoatomizdat, 2003. (in Russian).
5. Ott H.W. Electromagnetic Compatibility Engineering. N.-Y.: John Wiley&Sons, 2009.
6. Barns Dzh. Elektronnoe Konstruirovaniye: Metody Bor'by s Pomekhami. M.: Mir, 1990. (in Russian).
7. Kechiev L.N., Akbashev B.B., Stepanov P.V. Ekranirovaniye Tekhnicheskikh Sredstv i Ekranirovannyye Sistemy. M.: ООО «Gruppa IDT», 2010. (in Russian).
8. Kechiev L.N. Ekranirovaniye Radioelektronnoy Apparaty. M.: Griffon, 2019. (in Russian).
9. Celozzi S, Araneo R., Lovat G. Electromagnetic Shielding. N.-Y.: John Wiley&Sons, 2008.
10. Morrison R. Grounding and Shielding. Circuits and Interference. N.-Y.: John Wiley&Sons, 2007.
11. Shulz R.B., Plantz V.C., Drush D.R. Shielding Theore and Practice. IEEE Trans EMC. 1988;30;3: 187—201.
12. Zhukov P.A., Marchenko M.V., Kirillov V.Yu. Vliyanie Perekhodnogo Soprotivleniya na Effektivnost' Ekranirovaniya Bortovoy Kabel'noy Seti Letatel'nykh Atmosferykh i Kosmicheskikh Apparatov. Vestnik MAI. 2017;24;3:121—126. (in Russian).
13. Zhukov P.A., Kirillov V.Yu., Marchenko M.V. Vliyanie Sposobov Soedineniya Ekranov Kabelya s Elektricheskim Soedinitelem na Effektivnost' Ekranirovaniya. Vestnik MEI. 2019;2:50—56. (in Russian).

14. ГОСТ 19005—81. Средства обеспечения защиты изделий ракетной и ракетно-космической техники от статического электричества. Общие требования к металлизации и заземлению.

14. GOST 19005—81. Sredstva Obespecheniya Zashchity Izdeliy Raketnoy i Raketno-kosmicheskoy Tekhniki ot Statischeckogo Elektrichestva. Obshchie Trebovaniya k Metallizatsii i Zazemleniyu. (in Russian).

Сведения об авторах:

Нгуен Ван Тай — аспирант кафедры теоретической электротехники Московского авиационного института, e-mail: kaf309@mai.ru

Кириллов Владимир Юрьевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической электротехники Московского авиационного института, e-mail: kaf309@mai.ru

Information about authors:

Nguyen Van Tai — Ph.D.-student of Theoretical Electrical Engineering Dept., Moscow Aviation Institute, e-mail: kaf309@mai.ru

Kirillov Vladimir Yu. — Dr.Sci. (Techn.), Professor, Head of Theoretical Electrical Engineering Dept., Moscow Aviation Institute, e-mail: kaf309@mai.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 28.03.2020

The article received to the editor: 28.03.2020