

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ (05.09.03)

УДК 621.396

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-2-50-56

Влияние способов соединения экрана кабеля с электрическим соединителем на эффективность экранирования

П.А. Жуков, В.Ю. Кириллов, М.В. Марченко

Развитие электроники требует внимательного отношения к вопросам электромагнитной совместимости и помехозащищенности, поскольку приводит к росту чувствительности аппаратуры. Становится необходимым учет многих технических параметров, которым ранее не уделялось должного внимания.

Рассмотрено влияние способов соединения экрана кабеля с корпусом электрического соединителя. Представлены результаты экспериментального исследования зависимости уровней помех в виде напряжений, наведенных на внутренних проводниках кабеля, от крепления экрана к корпусу и величины зазоров в экране. Показаны изменения уровней наведенных помех при пошаговой вариации переходного сопротивления. Изучено влияние неоднородностей экрана кабеля на уровни наведенных напряжений. Сделаны выводы о необходимости однородного соединения экрана кабеля с корпусом электрического соединителя.

Ключевые слова: бортовые кабели летательных атмосферных и космических аппаратов, электрические соединители, эффективность экранирования, переходное сопротивление, электромагнитные поля, ТЕМ-камера.

Для цитирования: Жуков П.А., Кириллов В.Ю., Марченко М.В. Влияние способов соединения экрана кабеля с электрическим соединителем на эффективность экранирования // Вестник МЭИ. 2019. № 2. С. 50—56. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-2-50-56.

The Influence of Methods of Connecting a Cable Shield with an Electrical Connector on the Effectiveness of Shielding

P.A. Zhukov, V.Yu. Kirillov, M.V. Marchenko

The development of electronics entails, along with positive results, the need of paying more attention to matters concerned with electromagnetic compatibility and noise immunity because certain electronic devices become more sensitive to electromagnetic interference. Accordingly, the need of taking into account many technical parameters that did not receive proper attention in the past is becoming of issue.

The effect the cable shield to the electrical connector body connection methods on the shielding efficiency is considered. The results from experimentally investigating the dependence of interference levels in the form of voltages induced in the cable inner conductors on the shield to body attachment arrangement and on the gap values in the shield are presented. The changes in the induced interference levels with stepped variation of the contact resistance are shown. The effect the cable shield heterogeneities have on the induced voltage levels is studied. Conclusions about the need of providing uniform connection of the cable shield to the electrical connector body have been drawn.

Key words: onboard cables of flying atmospheric and space vehicles, electrical connectors, shielding efficiency, contact resistance, electromagnetic fields, TEM camera.

For citation: Zhukov P.A., Kirillov V.Yu., Marchenko M.V. The Influence of Methods of Connecting a Cable Shield with an Electrical Connector on the Effectiveness of Shielding. Bulletin of MPEI. 2019;2:50—56. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-2-50-56.

По мере миниатюризации элементов электронного оборудования и снижения энергопотребления возрастает не только экономичность и эффективность систем, но и восприимчивость электронных и электротехнических комплексов к электромагнитным помехам, как внешним, так и внутренним. Актуальность повышения эффективности экранирования кабелей увеличивается в связи с

появлением устройств, предназначенных для создания искусственных электромагнитных воздействий. Существующие методы защиты не всегда полностью соответствуют условиям применения современной техники в меняющейся электромагнитной обстановке, поэтому требуется доработка методов защиты и испытаний оборудования на эффективность экранирования.

Летательные аппараты (ЛА) — сложные многокомпонентные технические устройства со множеством систем в структуре. Одной из таких является бортовая кабельная сеть ЛА (БКС ЛА). Она выполняет функцию связи между бортовыми системами и устройствами, обеспечивает электропитание и обмен информацией, поэтому воздействие ЭМП на БКС влияет на все элементы аппарата и, следовательно, надежность всей системы ЛА зависит от защищенности БКС от внешних воздействий. Наиболее уязвимыми для проникновения помех считаются места соединения экранов кабелей с соединителями БКС [1 — 12].

Наибольшие проблемы обеспечения эффективного экранирования возникают из-за появления неоднородностей в экране кабелей или неэкранированных участков. На сегодняшний день отраслевые стандарты и стандарт [13] устанавливают требования к металлизации и заземлению кабельных сетей.

Возможные варианты соединения экрана с корпусом соединителя можно классифицировать следующим образом:

- экран кабеля прочно закреплен в металлическом корпусе электрического соединителя кабеля или кабельного жгута, как показано на рис. 1;
- экран кабеля соединен с корпусом соединителя или соединителей металлической косичкой [13];
- экран соединен с корпусом соединителя и не соединен с остальными соединителями.

Переходные сопротивления [14 — 16], величины зазоров в экране кабеля и, как следствие, неоднородности экрана зависят от примененного способа соединения кабельного экрана с корпусом соединителя.

Следует учитывать, что при наличии соединения экрана кабеля с корпусом соединителя металлической косичкой измеренное переходное сопротивление может полностью удовлетворять требованиям стандартов, однако фактически кабель окажется незащищен, поскольку появляется участок кабеля, открытый для проникновения внешних ЭМП и наведения на внутренних проводниках кондуктивных ЭМП в виде токов и напряжений [6 — 12, 17].



Рис. 1. Общий вид электрических соединителей с качественно закрепленным электромагнитным экраном

Наличие неоднородностей экрана кабеля в местах соединения экрана и корпуса электрического соединителя и появление на внутренних проводниках кондуктивных ЭМП приводит к необходимости исследования влияния способов соединения на защитные свойства экрана.

Для изучения данного вопроса были проведены две серии экспериментов на макетах экранированного кабеля.

Анализ эффективности экранирования проводили на основе определения уровней напряжений помех на внутренних проводниках макета кабеля, наведенных внешним электромагнитным полем. Исследуемый макет кабеля на диэлектрической подложке размещали в рабочей зоне ТЕМ-камеры, электромагнитное поле которой создавалось генератором, синхронизированным с измерительным приемником, фиксирующим частотную диаграмму ЭМП в виде напряжений на внутренних проводниках кабеля [2]. Схема исследования изображена на рис. 2. Варианты исследовательских установок описаны в [1, 10, 11, 15, 18, 19].

Цель первого этапа — определить, как повлияет соединение экрана с корпусом соединителя на уровень

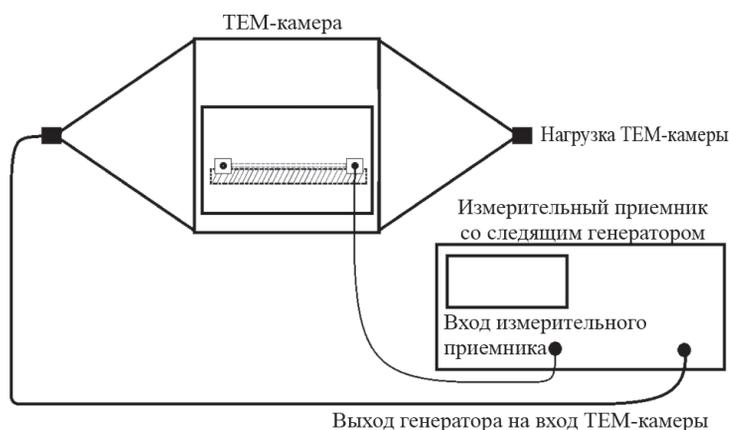


Рис. 2. Схема установки для исследования частотной диаграммы наведенных напряжений на внутренних проводниках кабеля на основе ТЕМ-камеры

наведенного напряжения. На втором этапе на макете кабеля рассматривалось влияние возможных зазоров между экраном кабеля и корпусом соединителя:

- экран соединяли с двумя корпусами соединителей по всему периметру контакта;
- экран соединялся с одним корпусом и не имел непосредственного контакта со вторым, но был связан с ним проволокой или металлической плетенкой.

На всех этапах переходное сопротивление в точке полного соединения экрана по всему периметру контакта с корпусом соединителя и сопротивление между экраном и корпусом через проволоку или перемычку составляли 1,1 мОм, что полностью удовлетворяло ограничениям стандарта в 2 мОм [13]. Результаты исследований в виде частотных диаграмм наведенных напряжений даны на рис. 3, 4.

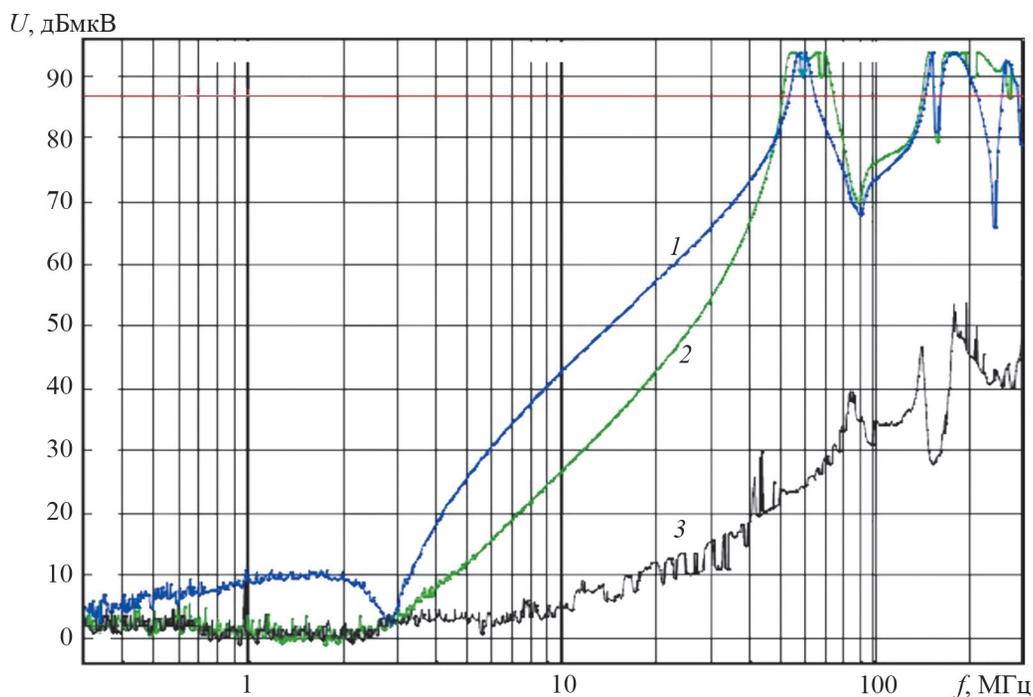


Рис. 3. Частотные диаграммы уровней наведенных напряжений:

- 1 — без внешнего экрана, используются только экраны витых пар; 2 — внешний экран, заделанный в один корпус соединителя; 3 — внешний экран, заделанный в корпуса обоих соединителей

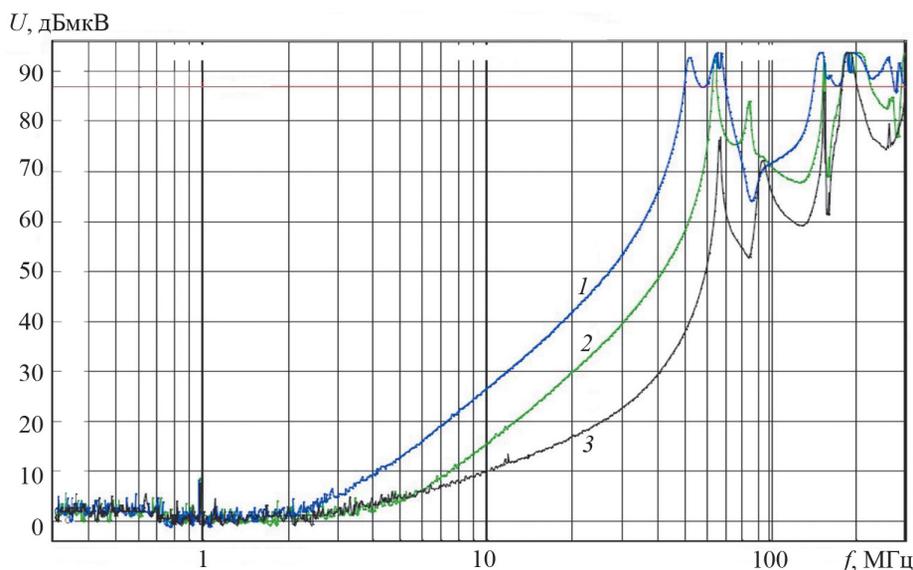


Рис. 4. Частотные диаграммы уровней наведенных напряжений:

- 1 — без внешнего экрана, используются только экраны витых пар; 2 — внешний экран соединен со вторым корпусом металлической проволокой; 3 — внешний экран соединен со вторым корпусом металлической косичкой

Из полученных на этом этапе данных следует, что наличие плетеной перемычки действительно снижает наводимые напряжения в среднем на 10 дБ для проволоки и на 20 дБ для плетеной косички, однако тот же экран при соединении со всеми корпусами по всему периметру контакта позволяет снизить уровень наведенных напряжений более чем на 40 дБ во всем частотном диапазоне.

На следующем этапе рассмотрен случай, когда экран соединен только с одним корпусом, имея зазор возле второго (рис. 6). Величина зазора при измерениях составила 20, 100 и 300 мм. Частотные диаграммы уровней наведенных напряжений при разных величинах зазора показаны на рис. 5.

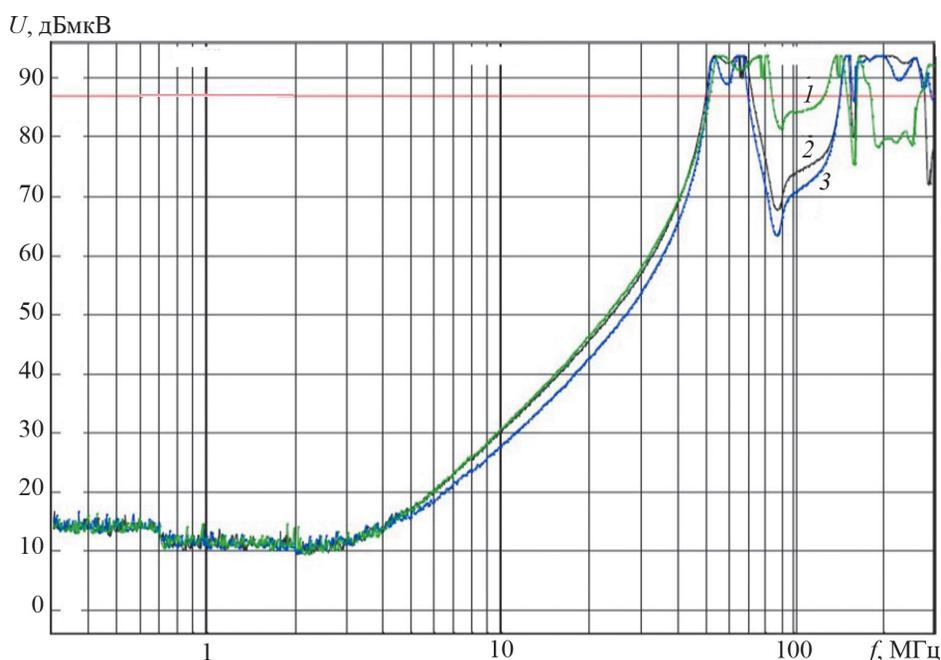


Рис. 5. Частотные диаграммы уровней наведенных напряжений при зазорах длиной 20 (1), 100 (2) и 300 (3) мм в экране



Рис. 6. Кабель с зазором между экраном и корпусом соединителя:
1 — корпус соединителя; 2 — зазор между экраном кабеля и соединителем; 3 — экран кабеля

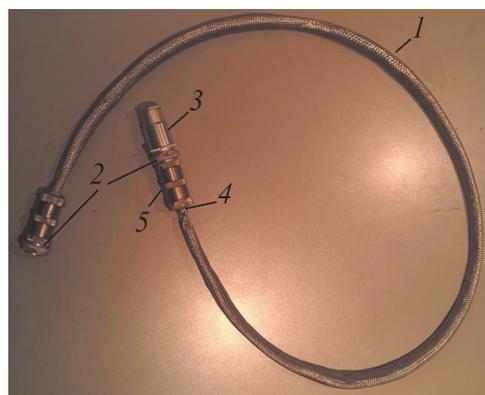


Рис. 7. Макет кабеля с заделанным внешним экраном и контролируемым переходным сопротивлением:
1 — экран кабеля; 2 — электрические соединители; 3 — имитатор нагрузки, состоящий из ответного соединителя, резисторов и кожуха; 4 — заделка экрана кабеля в корпус соединителя; 5 — резьбовое соединение на корпусе соединителя

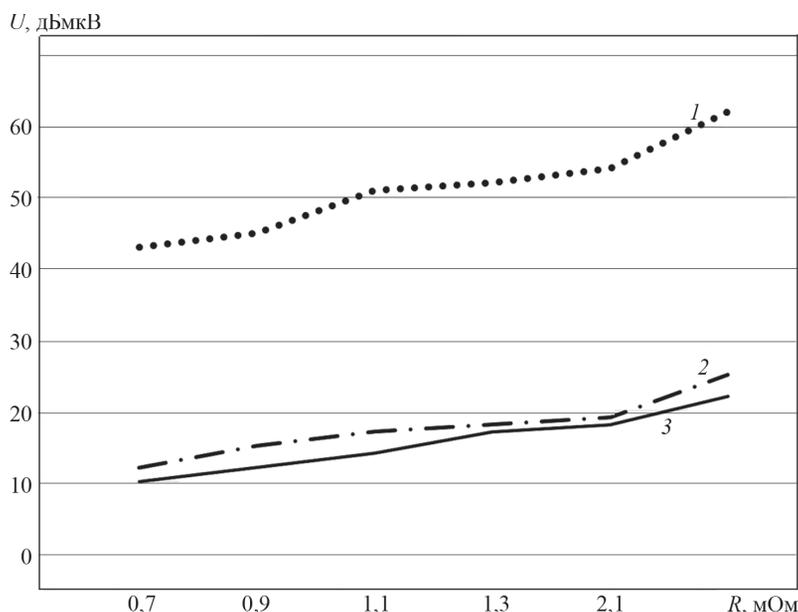


Рис. 8. Диаграмма зависимости уровня наведенного напряжения при изменении переходного сопротивления на частотах в 70 (1), 30 (2) и 100 (3) МГц

мощью электронного миллиомметра по отработанной методике [1].

На рисунке 8 представлены графики изменения уровней наведенных напряжений при повышении переходных сопротивлений от 0,7 до 4 МОм.

Из диаграммы рис. 8 следует, что уровень напряжения помех на внутренних проводниках кабеля, наведенных внешним электромагнитным полем, имеет очевидную зависимость от величины переходного сопротивления.

Таким образом, проведенные исследования наглядно показывают зависимость эффективности экрани-

рования от любых, даже незначительных изменений однородности экрана.

Неоднородности экрана кабеля, вызванные внедрением в него металлических проволок и/или косичек, не позволяют ему проявить свои максимальные экранирующие свойства. Для создания надежной и эффективной защиты от помех необходимо его присоединение к корпусам соединителей по всему периметру контакта. Любые зазоры и нарушения однородности экрана недопустимы, поскольку могут значительно ухудшить его электромагнитные свойства.

Литература

1. 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.
2. Жуков П.А. Влияние вариантов заделки экрана кабеля и переходного сопротивления на эффективность экранирования // Авиация и космонавтика — 2017: Тезисы XVI Междунар. конф. М.: Изд-во МАИ, 2017. С. 156—157.
3. Жуков П.А., Марченко М.В. Изменение эффективности экранирования кабелей бортовой сети в процессе жизненного цикла // Техно-ЭМС 2017: Сборник трудов конф. М: ВШЭ, МИЭМ, 2017.
4. Borgeest K. Tested Once, Forever Right? Influence of Aging and Temperature on Susceptibility and Emissions // Proc. IEEE Intern. Symp. Electromagnetic Compatibility (EMC). 2015. Pp. 271—276.

References

1. Zhukov P.A., Marchenko M.V., Kirillov V.Yu. Vliyaniye Perekhodnogo Soprotivleniya na Effektivnost' Ekranirovaniya Bortovoy Kabel'noy Seti Letatel'nykh Atmosfernykh i Kosmicheskikh Apparatov. Vestnik MAI. 2017;24;3:121—126. (in Russian).
2. Zhukov P.A. Vliyaniye Variantov Zadelki Ekрана Kablya i Perekhodnogo Soprotivleniya na Effektivnost' Ekranirovaniya. Aviatsiya i Kosmonavtika — 2017: Tezisy XVI Mezhdunar. Konf. M.: Izd-vo MAI, 2017:156—157. (in Russian).
3. Zhukov P.A., Marchenko M.V. Izmeneniye Effektivnosti Ekranirovaniya Kabeley Bortovoy Seti v Protseesse Zhiznennogo Tsikla. Tekhno-EMS 2017: Sbornik Trudov Konf. M: VSHE, MIEM, 2017. (in Russian).
4. Borgeest K. Tested Once, Forever Right? Influence of Aging and Temperature on Susceptibility and Emissions. Proc. IEEE Intern. Symp. Electromagnetic Compatibility (EMC). 2015:271—276.

5. Deschênes P., Bijman R., Leferink F. Effect of Gland Quality on the Screening Effectiveness of Cable-connector Assemblies // *Ibid.* Pp. 62—67.
6. Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Казань: Новое знание, 2016.
7. Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. М.: Издат. дом «Технологии», 2010.
8. Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. М.: Издат. дом «Технологии», 2007.
9. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. М.: Издат. дом «Технологии», 2007.
10. Уилльямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. М.: Издат. дом «Технологии», 2003.
11. Уилльямс Т., Армстронг К. ЭМС для систем и установок. М.: Издат. дом «Технологии», 2004.
12. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К., Кужекин И.П., Жуков А.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. М.: Энергоатомиздат, 2003.
13. ГОСТ 19005—81. Средства обеспечения защиты изделий ракетной и ракетно-космической техники от статического электричества. Общие требования к металлизации и заземлению.
14. Кириллов В.Ю., Марченко М.В., Томилин М.М. Электромагнитная совместимость бортовой кабельной сети летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 2014.
15. Кириллов В.Ю., Марченко М.В. Зависимость эффективности экранирования кабелей от переходного сопротивления при воздействии электростатического разряда // Технологии ЭМС. 2012. № 1(40). С. 10—14.
16. Кириллов В.Ю., Томилин М.М. Исследование экранирующих свойств гибких материалов с целью их дальнейшего применения для защиты изделий аэрокосмической техники от электромагнитных воздействий // Вестник МАИ. 2011. Т. 18. № 1. С. 121—125.
17. Кириллов В.Ю., Марченко М.В., Томилин М.М. Электромагнитная совместимость бортовой кабельной сети летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 2014.
18. Al-Hamid M., Leone M., Schulze S. A Novel Characterization Method for Cable Ferrites Using a TEM-Waveguide Test Setup // Proc. IEEE Intern. Symp. Electromagnetic Compatibility (EMC). 2015. Pp. 258—265.
19. Pissoort D. e. a. Towards a Stripline Setup to Characterise the Effects of Corrosion and Ageing on the Shielding Effectiveness of EMI Gaskets // *Ibid.* Pp. 7—12.
5. Deschênes P., Bijman R., Leferink F. Effect of Gland Quality on the Screening Effectiveness of Cable-connector Assemblies. *Ibid.*:62—67.
6. Sedel'nikov Yu.E., Veden'kin D.A. Elektromagnitnaya Sovmestimost' Radioelektronnykh Sredstv. Kazan': Novoe Znanie, 2016. (in Russian).
7. Kechiev L.N., Akbashev B.B., Stepanov P.V. Ekranirovanie Tekhnicheskikh Sredstv i Ekraniruyushchie Sistemy. M.: Izdat. Dom «Tekhnologii», 2010. (in Russian).
8. Balyuk N.V., Kechiev L.N., Stepanov P.V. Moshchnyy Elektromagnitnyy Impul's: Vozdeystvie na Elektronnye Sredstva i Metody Zashchity. M.: Izdat. Dom «Tekhnologii», 2007. (in Russian).
9. Kechiev L.N. Proektirovanie Pечатnykh Plat dlya Tsifrovoy Bystrodeystvuyushchey Apparatury. M.: Izdat. Dom «Tekhnologii», 2007. (in Russian).
10. Uill'yams T. EMS Dlya Razrabotchikov Produktsii. M.: Izdat. Dom «Tekhnologii», 2003. (in Russian).
11. Uill'yams T., Armstrong K. EMS dlya Sistem i Ustanovok. M.: Izdat. Dom «Tekhnologii», 2004. (in Russian).
12. 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).
13. GOST 19005—81. Sredstva Obespecheniya Zashchity Izdeliy Raketnoy i Raketno-kosmicheskoy Tekhniki ot Statcheskogo Elektrichestva. Obshchie Trebovaniya k Metallizatsii I Zazemleniyu. (in Russian).
14. 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).
15. Kirillov V.Yu., Marchenko M.V. Zavisimost' Effektivnosti Ekranirovaniya Kabeley ot Perekhodnogo Soprotivleniya pri Vozdeystvii Elektrostatcheskogo Razryada. Tekhnologii EMS. 2012;1(40):10—14. (in Russian).
16. Kirillov V.Yu., Tomilin M.M. Issledovanie Ekraniruyushchikh Svoystv Gibkikh Materialov s Tsel'yu ikh Dal'neyshego Primeneniya dlya Zashchity Izdeliy Aerokosmicheskoy Tekhniki ot Elektromagnitnykh Vozdeystviy. Vestnik MAI. 2011;18;1:121—125. (in Russian).
17. 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).
18. Al-Hamid M., Leone M., Schulze S. A Novel Characterization Method for Cable Ferrites Using a TEM-Waveguide Test Setup. Proc. IEEE Intern. Symp. Electromagnetic Compatibility (EMC). 2015:258—265.
19. Pissoort D. e. a. Towards a Stripline Setup to Characterise the Effects of Corrosion and Ageing on the Shielding Effectiveness of EMI Gaskets. *Ibid.*:7—12.

Сведения об авторах:

Жуков Петр Александрович — аспирант кафедры 309 Московского авиационного института, старший инженер ФГУП МОКБ «Марс», e-mail: terran35@mail.ru

Кириллов Владимир Юрьевич — доктор технических наук, заведующий кафедрой 309 Московского авиационного института, e-mail: kaf309@mail.ru

Марченко Михаил Владимирович — кандидат технических наук, начальник отдела ФГУП МОКБ «Марс», e-mail: m-fallout@yandex.ru

Information about authors:

Zhukov Petr A. — Ph.D.-student of 309 Dept., Moscow Aviation Institute, Senior Engineer of FSUE MEDB «Mars», e-mail: terran35@mail.ru

Kirillov Vladimir Yu. — Dr.Sci. (Techn.), Head of 309 Dept., Moscow Aviation Institute, e-mail: kaf309@mail.ru

Marchenko Mikhail V. — Ph.D. (Techn.), Head of Department of FSUE MEDB «Mars», e-mail: m-fallout@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 15.05.2018

The article received to the editor: 15.05.2018