

Воршевский А.А., Гришаков Е.С.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

ИМПУЛЬСНЫЕ ПОМЕХИ В СУДОВОМ КАБЕЛЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) осложняется ростом энергетической насыщенности судов, широким применением цифровой техники в системах управления и обработки информации. Одним из видов испытаний на ЭМС всего изготовленного для установки на морские и речные суда судового электрооборудования (ЭО) является электростатический разряд (ЭСР). Амплитуда напряжения при контактном режиме ввода помехи 6 кВ и воздушном режиме 8 кВ. Эти требования нормируют Российский Морской Регистр Судоходства (РС) и Российский Речной Регистр (РРР). ЭСР может приводить к некорректной работе судового оборудования (системы навигации, видеонаблюдения, пожаротушения и т.д.), которое отвечает за безопасность движения судна и экипажа. Приведены результаты воздействия ЭСР на судовой кабель амплитудой 25 кВ. Ввод помехи осуществляется разработанным имитатором ЭСР-25000 на оплетку кабеля и металлическую трубку, которая имитирует металлические конструкции на судне. ЭСР в экран судовой кабеля приводит к распространению импульсного напряжения по экрану и появлению напряжения на внутренних жилах. Затухание помехи на дальнем конце кабеля через 50 м не более 10% от первоначального импульса напряжения. Результаты испытаний на воздействие ЭСР судовых систем после их установки на судно позволяют сделать вывод, что для обеспечения ЭМС недостаточно выполнять только существующие требования Российского морского регистра судоходства по устойчивости ЭО к ЭСР, которые в настоящее время подтверждаются испытаниями образцов ЭО в лаборатории. Актуальным является проведение исследований в области обеспечения ЭМС судового оборудования при ЭСР.

Ключевые слова: электростатический разряд, электромагнитная совместимость, судовой кабель, импульсное напряжение, датчик напряжения, пробой изоляции, помеха.

ВВЕДЕНИЕ

Современное судно представляет собой сложную систему, включающую в себя многие технические средства с различными функциями и принципами действия. В электроэнергетических системах возникают электромагнитные помехи, в том числе и ЭСР, которые могут вызывать сбои в ЭО. Для судов характерно близкое расположение высококачественного ЭО, силового оборудования и кабельных трасс, по которым распространяются помехи. Требования и методы испытаний для промышленного и бытового оборудования устанавливаются межгосударственным стандартом ГОСТ 30804.4.2-2013 [1] (ИЕС 61000-4-2:2008).

Разряды статического электричества с тела человека на металлические объекты вызывают сбои в работе судового ЭО и могут привести к выходу его из строя. Кроме непосредственного воздействия на оборудование, возможны случаи ЭСР на информационные и силовые кабели. Амплитуда разряда может достигать 25 кВ в зависимости от условий накопления заряда. Российский Морской Регистр Судоходства и Российский Речной Регистр требуют проводить испытания оборудования, изготовленного для установки на морские и речные суда, на воздействие контактного разряда амплитудой 6 кВ и воздушного разряда 8 кВ [2]. По многим зарубежным источникам [3] уровень напряжения может значительно превышать установленные параметры в РС и РРР.

Учитывая специфику судового оборудования по укладке кабелей, а также ограниченное пространство, наибольший интерес представляет разряд в силовой кабель большой амплитуды. Наведенное напряжение от ЭСР может влиять через кабели на сигнальные цепи, цепи управления и питания ЭО [3]. Для изучения

воздействия разряда амплитудой 25 кВ на судовой силовой кабель разработан и аттестован генератор электростатических разрядов ЭСР-25000, который может производить ЭСР до 30 кВ.

Для исследования эффектов при разряде на судовой кабель собрана установка, представленная на **рис. 1**.

Разряд производится в двух различных по характеру местах (точка 1 и точка 2) кабеля марки КМПВЭВ 7×2,5 мм² [ТУ16-705.169-80 «Кабели марки КМПВ»], изготовленного по ТУ16-705.169-80. Данный кабель имеет следующие параметры:

- диаметр жилы 2 мм;
- толщина ПЭ-изоляции 1 мм;
- толщина экрана 1,65 мм;
- относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r=2,72$;
- относительная магнитная проницаемость $\mu_r=1$.

Точка 1 представляет собой часть кабеля со снятой изоляцией, и воздействие ЭСР производится непосредственно на оплетку кабеля. Точка 2 – это металлическая трубка длиной 300 мм, которая выступает в качестве имитации крепежной скобы или металлического хомута, который охватывает кабель. На кабеле установлены заранее откалиброванные датчики напряжения ДН Д1 и ДН Д2 [4].

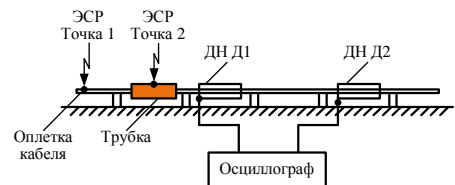


Рис. 1. Схема установки для исследования воздействия ЭСР амплитудой 25 кВ на судовой кабель

Разряд амплитудой 25 кВ (рис. 2) в точке 1 имитирует распространение ЭСР по кабелю, например при пробое изоляции или кабеле без изоляции. Также этот случай соответствует разряду в жилы кабеля. Сигнал снимается с ДН Д1 и ДН Д2. Датчик Д1 устанавливается ближе к точке разряда, а датчик Д2 на другой конец кабеля. Расстояние от точки 1 до Д1 составляет 2380 мм, а до Д2 – 3650 мм.

На рис. 3 представлена осциллограмма, где производится ввод ЭСР амплитудой 25 кВ через металлическую трубку в точке 2. Расстояние от трубки до Д1 составляет 500 мм, до Д2 – 550 мм.

При таких напряжениях возможно образование предимпульсов около 10 кВ, с последующим импульсом до 30 кВ. Такие разряды чаще всего формируются при положительной полярности импульса [5, 6].

По представленной осциллограмме на рис. 3 видно, что фронт импульса находится в наносекундном диапазоне длительностей. Напряжение на дальнем датчике (Д2) на несколько киловольт выше, чем на Д1. Это явление возникает из-за отражения части волны при достижении точки, в которой волновое сопротивление отличается от сопротивления линии. В дальнейшем трубка устанавливается в центр кабеля, а датчики напряжения установлены на равном расстоянии от него (рис. 4). Полученные значения напряжения представлены на рис. 5.

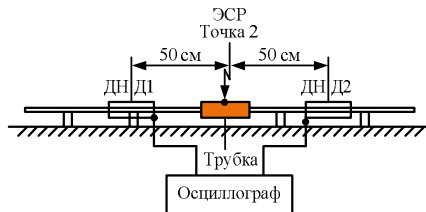


Рис. 4. Схема установки для исследования распространения ЭСР по судовому кабелю

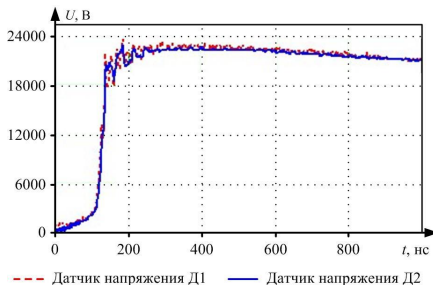


Рис. 5. Изменение напряжения во времени при воздействии ЭСР на судовую кабель через металлическую трубку (датчики расположены на равном расстоянии от металлической трубки)

Судовые кабели могут транзитом проходить через несколько палуб на большие расстояния. Для оценки уровня распространяющихся помех от ЭСР амплитудой 25 кВ использована схема, представленная на рис. 6.

Кабели 1, 2, 3 уложены в трассу длиной 50 м. Разряд подается в начало трассы на разные кабели на экран кабеля (точка 1) и через металлическую трубку (точка 2) шириной 50 см. Показания снимаются на другом конце с помощью двух откалиброванных датчиков и осциллографа. Прохождение помехи имитируется в различных начальных условиях.

Подача помехи осуществляется в кабель №1 через металлическую трубку и на экран. Показания снимаются на кабеле №1 (на который воздействует ЭСР). Кабели 2 и 3 соединены между собой на двух концах и заземлены на общую шину, имитируя тем самым корпус судна. Полученные результаты представлены на рис. 7 и 8.

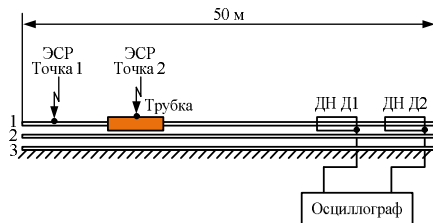


Рис. 6. Схема установки для исследования распространения ЭСР по судовому кабелю

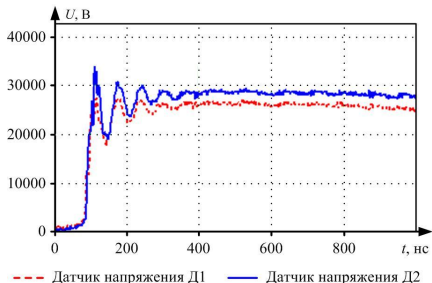


Рис. 2. Изменение напряжения во времени при воздействии ЭСР амплитудой 25 кВ на судовую кабель через оплетку

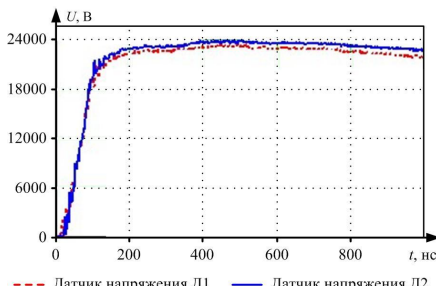


Рис. 3. Изменение напряжения во времени при воздействии ЭСР на судовую кабель через металлическую трубку амплитудой 25 кВ

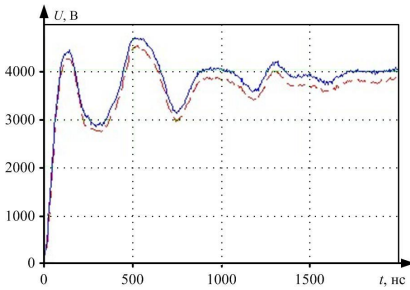


Рис. 7. Изменение напряжения во времени при воздействии ЭСР на экран судового кабеля №1 (кабели №2 и 3 заземлены на двух концах)

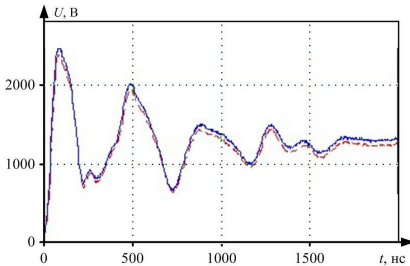


Рис. 8. Изменение напряжения во времени при воздействии ЭСР на судовой кабель №1 через металлическую трубку (кабели №2 и 3 заземлены на двух концах)

Прямой разряд в экран судового кабеля приводит к распространению импульсного напряжения по экрану и появлению напряжения на внутренних жилах. При подаче ЭСР на экран кабеля в среднем напряжение больше на 2000 В, чем при воздействии через металлическую трубку. Время нарастания импульса менее 100 нс, амплитуда импульса через 50 м при подаче на экран кабеля 4,5 кВ, при подаче через металлическую трубку 3 кВ. При воздействии ЭСР на кабель возникают наведенные напряжения в соседних кабелях, что может привести к сбоям и в работе оборудования, под-

ключенного к ним. Амплитуда помехи при подаче на экран кабеля составляет 2,5 кВ, при подаче через металлическую трубку 1,5 кВ. Помеха на конце кабеля через 50 м затухает не более чем на 10 % от начального импульса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электростатический разряд может воздействовать не только непосредственно на электронное оборудование, но и через подключенные к нему внешние кабели. Разряд в экран кабеля приводит к возникновению импульсной помехи на экране и внутренних жилах кабеля амплитудой в тысячи вольт. При распространении вызванных ЭСР импульсов напряжения по кабелю длиной 50 м амплитуда напряжения меняется незначительно. В соседних кабелях также наблюдаются наведенные напряжения амплитудой в тысячи вольт. ЭСР в кабели является крайне опасным путем воздействия этого вида помех на электронное оборудование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 30804.4.2-2013 (ИЕС 61000-4-2:2008). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний.
- Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов (Часть IV «Техническое наблюдение за изготовлением изделий» ИД № 2-020101-118) Российского морского регистра судоходства, 2019 г. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2019 .
- Кечиев Л.Н., Баллок Н.В. Зарубежные военные стандарты в области ЭМС// под ред. Л.Н. Кечиева. М.: Грифон, 2014. 448 с.
- Воршевский А.А., Гальперин В.Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств / СПбГМТУ. СПб., 2006. 317 с.
- Воршевский А.А., Агафонов А.М., Гришаков Е.С. Измерения наносекундных импульсов, вызванных электростатическим разрядом // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. науч. тр. Вып. 5 / под ред. С.И. Лукьянова, Е.Г. Нешпоренко. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. С. 121-129.
- Базелян Э.М., Ражанский И.М. Искровой разряд в воздухе. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 165 с.

Поступила в редакцию 01 сентября 2019 г.

INFORMATION IN ENGLISH

IMPULSE NOISE IN THE SHIP CABLE CAUSED BY UNDER ELECTROSTATIC DISCHARGE

Alexander A. Worshevsky

D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor, Head of Electrical Engineering and Ship Electrical Equipment Department, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia. E-mail: grishakove@mail.ru, elemcom@smtu.ru.

Evgenii S. Grishakov

Post-graduate student, 2nd category Engineer, Electrical Engineering and Ship Electrical Equipment Department, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia. E-mail: grishakove@mail.ru. ORCID: 0000-0002-2002-6377.

A modern vessel is a complex system that includes many technical means with different functions and operating principles. Electromagnetic interference occurs in electrical power systems, which can cause electrical equipment failures. Ships are

characterized by close proximity of highly sensitive equipment, power equipment and cable routes, which are subject to interference. Ensuring electromagnetic compatibility is complicated by the growth of energy saturation of ships, the

widespread use of digital technology in control systems and information processing. The paper demonstrates the results of electrostatic discharge for ship cable with the amplitude of 25 kV. The interference is simulated by the simulator ESR-25000 for a braided cable and a metal tube that simulates metal structures on the ship. ESR in the screen of the ship cable leads to the propagation of pulse voltage across the screen and the appearance of voltage on the internal veins. Attenuation of interference at the far end of the cable after 50 meters is not more than 10 % of the original voltage pulse.

Keywords: electrostatic discharge, electromagnetic compatibility, testing, marine cable, pulse voltage, sensor of voltage, breakdown of the insulation, noise.

REFERENCES

1. GOST 30804.4.2-2013 (IEC 61000-4-2:2008). Electromagnetic compatibility of technical equipment. Resistance to electrostatic discharge. Requirements and testing methods.
2. Pravila tehničkog nabljudenija za postrojkoj sudov i izgotovljeniem materialov i izdelij dlja sudov (Chast IV «Tehničkoe nabljudenie za izgotovljeniem izdelij» ND №2-020101-118) Rossijskogo morskogo registra sudohodstva, 2019 g. [Rules of technological control of vessel

- building and production of materials and parts for ships (Part IV "Rules of technological control of part production" ND no. 2-020101-118) of the Russian register of shipping, 2019]. St. Petersburg, Russian register of shipping, 2019.
3. Kechiev L.N. Baljuk N.V. Zarubezhnye voennye standarty v oblasti JeMS [Foreign military standards in the field of electromagnetic compatibility] // Under the editorship of L.N. Kechiev. Moscow: Grifon, 2014. 448 p. (In Russian)
4. Worshevskii A.A., Galperin V.E. Jelektromagnitnaja sovmestimost sudovyh tehničkih sredstv [Electromagnetic compatibility of ship technical equipment]; SPbGMTU. St. Petersburg, 2006, 317 p. (In Russian)
5. Worshevskii A.A., Agafonov A.M., Grishakov E.S. Measuring of nanosecond pulses caused by an electrostatic discharge // Jenergeticheskie i jelektrotehničke sistemy [Power supply and electrical systems]: international collection of scientific papers. – Issue 5 / under the editorship of S.I. Lukyanov, E.G. Neshporenko. Magnitogorsk: Publishing center of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2018, pp. 121-129. (In Russian)
6. Bazeljan Je.M., Razhanskij I.M. Iskrovoj razrjad v vozduhe [Spark discharge in the air]. Novosibirsk: Science. Siberian branch, 1988, 165 p. (In Russian)

Воршевский А.А., Гришаков Е.С. Импульсные помехи в судовом кабеле при воздействии электростатического разряда // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 4(45). С. 43-46. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4\(45\)-43-46](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4(45)-43-46)

Worshevsky A.A., Grishakov E.S. Impulse Noise in the Ship Cable Caused by Under Electrostatic Discharge. *Elektrotehničke sistemy i komplekxy* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 4(45), pp. 43-46. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4\(45\)-43-46](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4(45)-43-46)
