

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-509-518

**ASSESSMENT OF THE MAN-MADE INTERFERENCE IMPACT  
AT THE CONSTRUCTION OF CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEM  
OF THE RIVER LOCAL DIFFERENTIAL SUBSYSTEM GLONASS / GPS**

**A. A. Ivanova, S. F. Shakhnov, A. A. Butsanets**

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

*The influence of man-made interference on the differential correction signal generated by the reference stations (RS) based on the existing radio beacons in the frequency band 283.5-325.0 kHz at designing a control and management system (CMS) of the river local differential subsystem (RLDSS) GLONASS/GPS on inland waterways is considered in the paper. Since among the man-made interference the noises from corona discharges of high voltage power lines will have dominant effect on the differential correction signal, then when power lines pass near the boundaries of RS operation zones, the significant local discontinuities of the differential field may occur. In turn, the breach of the differential correction field integrity will lead to a decrease in the navigation safety on inland waterways at using the instrumental methods of pilotage. To calculate the noise immunity of the RS-vessel radio channel under the influence of man-made interference, a method based on calculating the error probability of piece-by-piece reception of a digital differential correction signal is used. The aim of the paper is to determine the assessment of the man-made interference impact on the differential field integrity by applying an algorithm for calculating the error probability. The algorithm includes the definition of signal energy in the radio channel with fluctuation and man-made noise in the absence of mutual interference. Exceeding the permissible magnitude of the error probability will signify the breach of the differential field integrity by the man-made interference impact and the appearance of local discontinuities of the field, where it is required to install additional remote control points. Thus, the use of this calculation algorithm minimizes the number of the remote control points, which is required when deploying the control and management system.*

*Keywords: river local differential subsystem, man-made interference, integrity monitoring, differential correction, power of interference, reference station, inland waterways, navigation safety.*

**For citation:**

Ivanova, Aleksandra A., Sergei F. Shakhnov, and Artem A. Butsanets. "Assessment of the man-made interference impact at the construction of control and management system of the river local differential subsystem GLONASS / GPS." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 509–518. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-509-518.

**УДК 656.629, 621.396**

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПОМЕХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ  
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕЧНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ГЛОНАСС / GPS**

**А. А. Иванова, С. Ф. Шахнов, А. А. Буцанец**

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Рассматривается влияние промышленных помех на сигнал дифференциальной поправки, формируемый контрольно-корректирующей станцией в полосе частот 283,5–325,0 кГц при проектировании системы контроля и управления речной локальной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS на внутренних водных путях. Поскольку среди промышленных помех преобладающее воздействие на сигнал дифференциальной поправки будут оказывать помехи от коронных разрядов линий электропередач, при прохождении последних вблизи границ зон действия контрольно-корректирующих станций могут возникать существенные локальные разрывы дифференциального поля. В свою очередь, нарушение целостности поля дифференциальной поправки приведет к снижению безопасности судоходства на внутренних водных путях*

при использовании инструментальных методов проводки. Для расчета помехозащищенности радиоканала контрольно-корректирующая станция — судно в условиях воздействия промышленных помех используется метод, основанный на вычислении вероятности ошибки поэлементного приема цифрового сигнала дифференциальной поправки. Целью работы является определение оценки влияния индустриальных помех на целостность дифференциального поля путем применения алгоритма расчета вероятности ошибки. Данный алгоритм включает определение энергетика сигнала в радиоканале с флуктуационным и индустриальным шумом в условиях отсутствия взаимных помех. Превышение допустимой величины вероятности ошибки будет означать нарушение целостности дифференциального поля в результате воздействия индустриальных помех и появление локальных разрывов поля, в местах возникновения которых требуется устанавливать дополнительные удаленные пункты контроля. Применение данного алгоритма расчета позволяет минимизировать количество удаленных пунктов контроля, необходимое при развертывании системы контроля и управления.

*Ключевые слова:* дифференциальная подсистема, индустриальные помехи, контроль целостности, дифференциальная поправка, энергетика помех, контрольно-корректирующая станция, внутренние водные пути, безопасность судоходства.

**Для цитирования:**

Иванова А. А. Оценка влияния индустриальных помех при построении системы контроля и управления речной локальной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС / GPS / А. А. Иванова, С. Ф. Шахнов, А. А. Буцанец // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 3. — С. 509–518. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-509-518.

---

## Введение (Introduction)

Высокий уровень безопасности навигации и эффективности управления транспортными потоками на внутренних водных путях (ВВП) обеспечивают высокоточные глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS. Высокая точность позиционирования на ВВП достигается за счет развертывания сети контрольно-корректирующих станций (ККС) речной локальной дифференциальной подсистемы (РЛДПС) ГНСС, работающих на границе средне- и длинноволнового диапазона в полосе частот 283,5–325,0 кГц.

Эффективность функционирования РЛДПС определяется не только высокой точностью позиционирования, достигающей метровых значений, но и обеспечением постоянной целостности дифференциального поля, формируемого ККС. На целостность поля оказывают влияние взаимные помехи от соседних ККС, индустриальные помехи, сезонные колебания электрических свойств подстилающей поверхности. В результате дальность действия ККС может варьироваться от 200 до 400 км, а целостность сплошного поля дифференциальной поправки может нарушаться, что приводит к снижению безопасности судоходства на ВВП и, соответственно, к необходимости создания системы контроля и управления (СКУ) РЛДПС, обеспечивающей непрерывный автоматический мониторинг целостности дифференциального поля и работоспособности элементов РЛДПС, в том числе с использованием методов математической обработки сигнала дифференциальной поправки, для чего необходимо разрабатывать математические методы учета влияния различных помех на качество приема этого сигнала.

Влияние взаимных помех на сигналы, передаваемые речными ККС, рассмотрено в источниках [1], [2], а воздействие подстилающей поверхности на распространение радиоволн диапазона частот 283,5–325,0 кГц — в источниках [2]–[4]. В данной работе рассматривается метод, позволяющий учитывать влияние индустриальных помех на сигнал ККС при проектировании СКУ РЛДПС на ВВП. Причем в источнике [1] установлено, что наличие различных помех и сильное влияние подстилающей поверхности на распространение радиоволн требуют создания разветвленной сети удаленных пунктов контроля (УПК), входящих в состав СКУ. Значительные размеры речных бассейнов требуют рациональной расстановки УПК при построении СКУ. Поэтому данная работа направлена на определение оценки влияния индустриальных помех на целостность дифференциального поля путем применения алгоритма расчета вероятности ошибки, который позволит уточнить количество УПК и их расположение для эффективного построения системы контроля и управления.

### Методы и материалы (Methods and materials)

Промышленные помехи разделены на две группы: первая группа — высокочастотные синусоидальные помехи, имеющие наибольшую интенсивность в полосе частот 30–300 МГц, вторая группа — импульсные помехи, которые в полосе частот ниже 20 МГц представляют собой аperiodические импульсы произвольной формы [5], [6]. Поскольку РЛДПС работает в диапазоне частот 283,5–325,0 кГц, первая группа помех не будет оказывать существенного влияния на сигнал дифференциальной поправки. Промышленные помехи второй группы возникают от различных электрических установок, линий электропередач (ЛЭП), электрического транспорта, систем зажигания, медицинских и научных приборов, аппаратуры для дуговой сварки и т. д.

Измерения промышленных электромагнитных помех от различных типичных для промышленности аппаратов [7] показали, что излучаемый при их работе спектр концентрируется в областях частот 750 кГц и 3 МГц для дуговых сварочных аппаратов, 10–20 МГц для аппарата для склеивания древесины и 35 МГц и выше для аппаратов по свариванию пластмассы. Помехи от систем зажигания двигателей внутреннего сгорания или электродвигателей наиболее сильно проявляются в полосе частот 30–1000 МГц<sup>1</sup>. Уровень радиопомех от электротранспорта имеет максимальное значение на частоте 150 кГц и убывает при увеличении частоты<sup>2</sup>. На рис. 1 представлены квазипиковые значения напряженности поля радиопомех, создаваемых ЛЭП, в полосе частот 0,15 ... 30 МГц<sup>3</sup> [5].

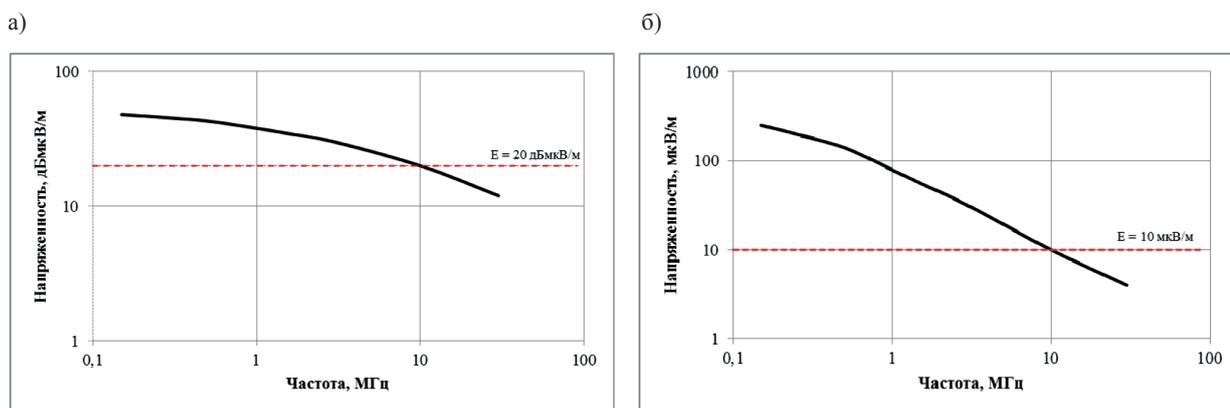


Рис. 1. Квазипиковые значения напряженности поля промышленных радиопомех, создаваемых ЛЭП, в децибелах относительно 1 мкВ/м (а) и в мкВ/м (б)

Согласно ГОСТ Р 54117–2010<sup>4</sup>, дифференциальная навигационная аппаратура потребителей (ДНАП) ГНСС должна обеспечивать прием сигналов поправок в динамическом диапазоне от 10 мкВ/м до 150 мВ/м, т. е. чувствительность судовых приемников ДГНСС должна быть не менее 10 мкВ/м (рис. 1, б) или 20 дБмкВ/м (см. рис. 1, а). Из рис. 1 следует, что напряженность поля радиопомех от ЛЭП резко падает с ростом частоты. Поскольку радиоканал ККС – судно работает на частотах 0,3 МГц, радиопомехи, создаваемые ЛЭП, будут существенно превышать порог чувствительности судовых приемников ДГНСС. Так как основная энергия промышленных помех, создаваемых промышленными аппаратами и системами зажигания, сосредоточена в полосе частот, находящейся в стороне от полосы, выделенной для РЛДПС, преобладающее воздействие

<sup>1</sup> ГОСТ Р 51318.12–2012. Совместимость технических средств электромагнитная. Транспортные средства, моторные лодки и устройства с двигателями внутреннего сгорания. Характеристики промышленных радиопомех. Нормы и методы измерений для защиты радиоприемных устройств, размещенных вне подвижных средств. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 29205–91. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от электротранспорта. Нормы и методы испытаний. М.: ИПК Изд-во стандартов, 6 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 22012–82. Радиопомехи промышленные от линий электропередачи и электрических подстанций. Нормы и методы измерений. М.: Изд-во стандартов, 1995. 7 с.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 54117–2010. Глобальные навигационные спутниковые системы. Морские дифференциальные подсистемы. Навигационная аппаратура потребителей. Технические характеристики, методы и требуемые результаты испытаний. М.: Стандартинформ, 2011. 28 с.

на сигнал дифференциальной поправки будут оказывать помехи от ЛЭП и контактных сетей электротранспорта. Вероятность прохождения поезда по железнодорожному мосту в момент прохода под ним судна значительно меньше единицы, поэтому при расчете вероятностных характеристик помехами от электротранспорта также можно пренебречь.

Радиопомехи от ЛЭП обусловлены коронными разрядами на изоляторах, проводах или арматуре, а также искрением, вызванным плохими контактами. Поскольку излучение от разряда в зазоре возникает в диапазоне высоких частот (от 1 МГц)<sup>1</sup>, на сигнал, передаваемый по радиоканалу ККС – судно, оно влияния не оказывает. Поэтому для учета влияния промышленных помех на целостность дифференциального поля РЛДПС можно ограничиться рассмотрением промышленных помех от коронных разрядов ЛЭП.

Механизм образования короны заключается в ионизации и излучательной рекомбинации газов, окружающих клеммы высоковольтных ЛЭП [8]. Флуктуации тока короны создают последовательность радиоимпульсов. Частота импульсов изменяется линейно с током короны. Эти импульсы имеют быстрое время нарастания и короткую длительность [9]–[11]. Эффект короны существенно проявляется в линиях напряжением 220 кВ и выше [7]. При дожде ионизация более существенна, поскольку водяные капли сильно увеличивают неровности на проводе, способные вызвать разряды. Следовательно, при дожде потери на корону растут. Судовые приемники испытывают на себе влияние помех, вызываемых коронным разрядом, при движении судна по участку ВВП, на котором ЛЭП либо пересекает этот участок, либо проходит вблизи от него (рис. 2).

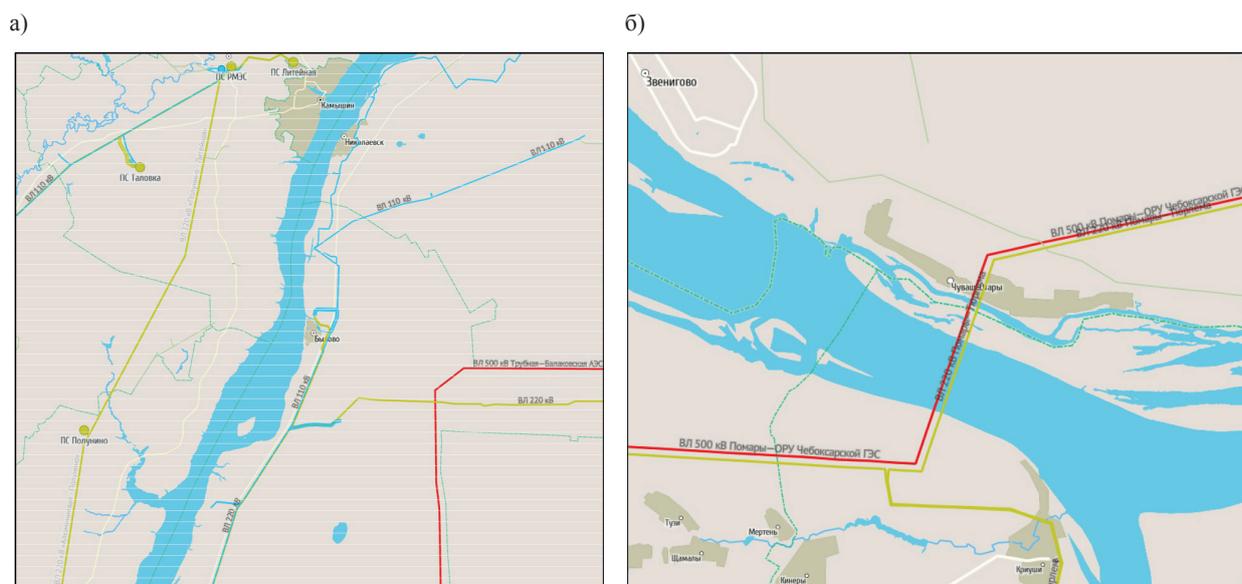


Рис. 2. Линии электропередач на двух участках: вдоль реки Волги (а) и пересекающие ее (б)

На рис. 2 показаны два участка реки Волги. На рис. 2, а представлена схема линий электропередач, проходящих вдоль реки мимо городов Камышин, Николаевск, Быково и Верхний Балыклей. Слева вдоль реки проходят воздушные линии (ВЛ) электропередач «Полунино–Литейная» и «Алюминиевая–Полунино» номиналами 220 кВ, расстояние от которых до Волги колеблется от 8 до 15 км на изображенном участке карты. С правой стороны от реки проходят ВЛ номиналами 110 кВ и 220 кВ. Причем, если в нижней части карты в районе города Быково и южнее минимальное расстояние от ВЛ до Волги составляет 1,5 км, то в северной части карты расстояние до реки не превышает 100 м на некоторых участках севернее города Николаевска, что может привести к влиянию радиопомех, создаваемых этой ЛЭП, на сигнал дифференциальной поправки, прини-

<sup>1</sup> РД 50-723–93. Методические указания. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от воздушных линий электропередачи и высоковольтного оборудования. Описание физических явлений. — М.: Изд-во стандартов, 1993. 132 с.

маемый судном, при прохождении данного участка реки. На рис. 2, б ВЛ «Помары–ОРУ<sup>1</sup> Чебоксарской ГЭС» и «Помары–Тюрлема» номиналами 500 кВ и 220 кВ, соответственно, пересекают водные пути в районе деревни Чуваш-Отары, помехи от которых в значительной степени будут оказывать влияние на радиоканал ККС – судно при прохождении последнего под ЛЭП. Поэтому в двух последних рассмотренных случаях требуется оценка влияния радиопомех от ЛЭП и принятие решения об установке дополнительных УПК.

### Результаты (Results)

Затухание помех, распространяющихся вдоль ЛЭП, увеличивается в зависимости от повышения частоты. Этот эффект видоизменяет спектр, уменьшая уровень помех с увеличением частоты. Затухание поля помех от коронных разрядов ЛЭП определяется по формуле

$$E(D) = E_0 + 20k \lg \left( \frac{D_0}{D} \right), \quad (1)$$

где  $E$  — напряженность поля помехи на расстоянии  $D$ , дБ·мкВ/м;  $E_0$  — напряженность поля помехи на расстоянии  $D_0$ , дБ·мкВ/м;  $k$  — коэффициент затухания;  $D_0$  — базисное расстояние, м.

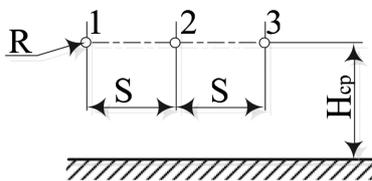


Рис. 3. Конфигурация ЛЭП с расположением проводов на одном уровне: 1–3 — провода ЛЭП;  $S$  — расстояние между фазами, м;  $H_{cp}$  — средняя высота провода над землей, м;  $R$  — радиус провода, мм

Согласно РД 50-723-93 для ЛЭП, проходящих по территории России, коэффициент затухания  $k$  принят  $-1,6$  в полосе частот  $0,15-30$  МГц, а базисное расстояние, на котором измеряется напряженность поля помехи, составляет  $20$  м.

В таблице представлены некоторые базисные значения напряженности поля радиопомех  $E_0$ , создаваемых коронным разрядом отечественных ЛЭП с расположением проводов на одном уровне (рис. 3) при различных напряжениях  $U$  и погодных условиях.

### Напряженность поля помех $E_0$ , создаваемых коронным разрядом ЛЭП на базисном расстоянии $20$ м для ЛЭП с расположением проводов на одном уровне

Параметры ЛЭП					Напряженность поля помех $E_0$ на базисном расстоянии $D_0 = 20$ м, дБ·мкВ/м	
$U$ , кВ	$S$ , м	$H_{cp}$ , м	$R$ , мм	Количество проводов	При сильном дожде	При сухой погоде
110	6	18,3	8,75	1	53	33
220	5,78	14,8	12	1	73	53
330	9	20	12	2	77	57
	8,7	18,5	12	2	78	58
500	10,5	17,2	12,6	3	76	56
	14,8	21,9	13,75	3	72	52
750	16	21,4	14,7	4	85	65
	10,5	27,5	12,0	5	85	65

Представленные в таблице базисные значения напряженности поля радиопомех  $E_0$  можно использовать для нахождения напряженности поля радиопомехи от коронного разряда на любом расстоянии  $D$  от источника помех по формуле (1). Например, исходя из таблицы, для ЛЭП напряжением  $220$  кВ базисная напряженность поля помехи  $E_0 = 73$  дБ·мкВ/м и  $E_0 = 53$  дБ·мкВ/м при дождливой и сухой погоде соответственно. Тогда, согласно формуле (1), профили радиопомех для ЛЭП данного номинала и текущей конфигурации будут иметь вид, представленный на рис. 4. Причем максимальной интенсивности радиопомехи от ЛЭП достигают при дожде, снегопаде, тумане и высокой относительной влажности. Повышенная турбулентность воздуха и солнечная активность в засушливых и пустынных районах также способствуют увеличению электромагнитных помех от ЛЭП.

<sup>1</sup> ОРУ — открытое распределительное устройство.

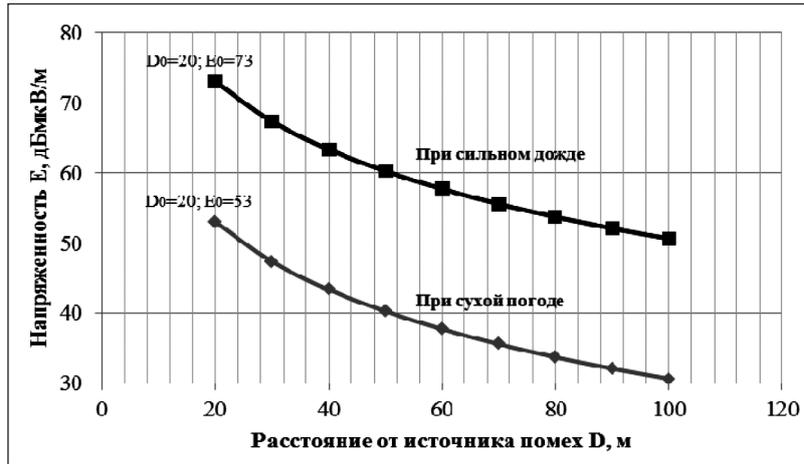


Рис. 4. Профили радиопомех для ЛЭП напряжением 220 кВ с расположением проводов на одном уровне

Суммарное колебание сигнала и помех, поступающее на вход приемного устройства, имеет вид [3]:

$$z'(t) = \mu z_r(t, \psi) + \sum_{i=1}^N \gamma_i(t) + \xi(t), \quad 0 \leq t < T, \quad (2)$$

где  $r = 1, 2, \dots, m$ ;  $m$  — основание кода;  $\mu$  — коэффициент передачи канала по сигналу или помехе;  $\psi$  — начальная фаза сигнала;  $z_r(t, \psi)$  — полезный сигнал;  $\gamma_i(t)$  — взаимная помеха от соседних ККС;  $N$  — число взаимных помех;  $\xi(t)$  — аддитивная помеха в виде белого гауссовского шума (флуктуационный шум), которая непрерывно существует на выходе приемного устройства;  $T$  — период следования сигнала.

На рис. 5 представлен спектр коронного разряда, полученный экспериментальным путем на испытательных станциях [12]. Из приведенного на рисунке графика видно, что в интервале частот 0,1–1 МГц напряженность поля помех от коронного разряда ЛЭП практически постоянна и далее резко падает, поэтому в данном интервале частот такую радиопомеху также можно рассматривать как флуктуационный белый гауссовский шум  $\xi_{cd}(t)$  со спектральной плотностью мощности  $\nu_{cd}^2$ . Тогда уравнение (2) примет вид

$$z'(t) = \mu z_r(t, \psi) + \sum_{i=1}^N \gamma_i(t) + \xi(t) + \xi_{cd}(t), \quad 0 \leq t < T, \quad (3)$$

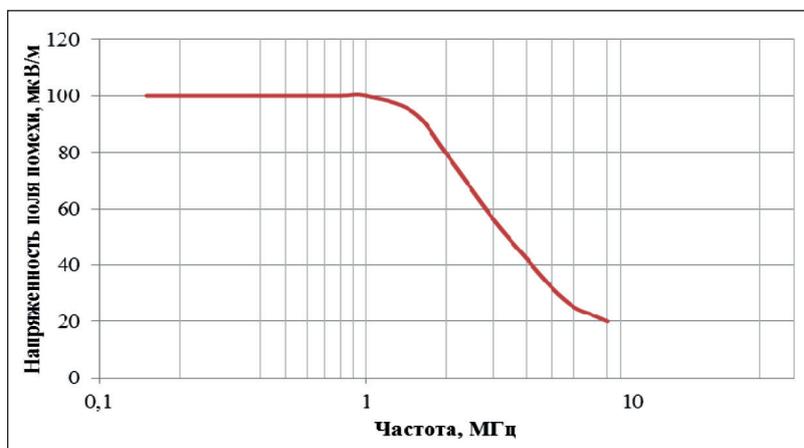


Рис. 5. Зависимость спектра поля радиопомех, снятая при искусственном коронном разряде, от частоты

Тогда для расчета помехозащищенности радиоканала ККС – судно можно использовать метод, основанный на вычислении вероятности ошибки поэлементного приема цифрового сообщения ( $p_{err}$ ) и описанный в источниках [1], [2]. При отсутствии взаимных помех  $p_{err}$  связана с энергетикой сигнала  $h_{cd}^2(D)$  соотношением [13]:

$$p_{err} = -0,5 \exp \left[ -\frac{h_{cd}^2(D)}{2} \right]. \quad (4)$$

При этом энергетика сигнала  $h_{cd}^2(D)$  в радиоканале с флуктуационным шумом и помехой от коронного разряда будет определяться выражением

$$h_{cd}^2(D) = \frac{P_s T}{v_{cd}^2(D) + v^2}, \quad (5)$$

где  $P_s$  — мощность сигнала на входе приемника;  $v_{cd}^2(D)$  — спектральная плотность шума от коронного разряда (индустриальной помехи);  $v^2$  — спектральная плотность белого флуктуационного шума.

Мощность сигнала на входе приемника  $P_s$  определяется в виде

$$P_s = \frac{E^2(R) \cdot S_{eff}}{120\pi}, \quad (6)$$

где  $S_{eff}$  — эффективная площадь антенны;  $E(R)$  — напряженность поля сигнала в точке приема в мкВ/м, вычисляемая в случае представления излучающей антенны ККС в виде точечного диполя в виде

$$|E(R)| = -\frac{3 \cdot 10^5 \sqrt{P_{tr}}}{R} w(R), \quad (7)$$

где  $P_{tr}$  — мощность передатчика, кВт;  $R$  — расстояние до точки приема, км;  $w(R)$  — функция ослабления, вычисляемая посредством уравнения Файнберга либо уравнения Хаффорда (для сферической поверхности) [2], [4].

В результате, определив напряженность поля сигнала в точке приема по (7) и зная эффективную площадь антенны, можно, используя выражение (6), вычислить мощность сигнала на приеме. В связи с тем, что на частотах, в диапазоне которых работает ККС, спектральная плотность шума от коронного разряда  $v_{cd}^2(D)$  практически постоянна, ее величина определяется выражением

$$v_{cd}^2(D) = P_{cd} \cdot \Delta f, \quad (8)$$

где  $P_{cd}$  — мощность помехи от коронного разряда на входе приемника;  $\Delta f$  — полоса частот сигнала.

$P_{cd}$  находится по формуле (6), в которую необходимо подставить полученное из формулы (1) значение напряженности поля помехи от коронного разряда в расчетной точке водного пути  $E(D)$  и эффективную площадь антенны, определенную на основании известных параметров антенно-фидерного тракта приемника. Входящее в формулу (1) базовое значение напряженности поля радиопомех  $E_0$  выбирается из приведенной на с. 513 таблицы для ЛЭП соответствующего номинала и расположением проводов на одном уровне в условиях дождя (как наиболее худший вариант) либо из РД 50-723–93 для других конфигураций ЛЭП.

Таким образом, найденные значения мощности сигнала на приеме  $P_s$ , спектральной плотности шума от коронного разряда  $v_{cd}^2(D)$ , а также спектральной плотности белого шума  $v^2$  позволяют определить энергетика сигнала  $h_{cd}^2(D)$  по выражению (5) и затем, подставив полученное значение в выражение (4), вычислить вероятность ошибки поэлементного приема сообщения  $p_{err}$  в радиоканале с флуктуационным и индустриальными шумами при отсутствии взаимных помех. В результате, если полученная вероятность ошибки  $p_{err}$  окажется ниже допустимой, то помехозащищенность радиоканала считается обеспеченной, и УПК располагать не требуется.

### Выводы (Summary)

1. В данной работе рассмотрена возможность учета влияния индустриальных помех на сигнал ККС при проектировании СКУ РЛДПС на ВВП. Проведенное исследование показало, что среди индустриальных помех существенное влияние на целостность поля дифференциальной поправки,

создаваемой ККС РЛДПС, оказывают радиопомехи от коронных разрядов ЛЭП. Такие помехи будут достигать максимальных значений в случае пересечения ЛЭП водных путей или при их близком расположении вдоль ВВП. В результате в указанных зонах возможны существенные локальные разрывы дифференциального поля, которые могут привести к снижению безопасности судоходства на ВВП. Поэтому для контроля поля в местах прохождения ЛЭП вблизи ВВП возникает необходимость установки дополнительных УПК.

2. Для учета влияния промышленных помех применен метод оценки целостности параметров дифференциальной подсистемы по критерию соответствия вероятности ошибки поэлементного приема ее допустимому значению. Разработан алгоритм расчета вероятности ошибки в условиях присутствия в радиоканале флуктуационных и промышленных помех.

3. Предложенная в работе оценка влияния промышленных помех позволяет посредством вычисления вероятности ошибки поэлементного приема цифрового сообщения  $p_{err}$  уже на стадии проектирования СКУ выявлять места возможных локальных разрывов дифференциального поля, которые будут возникать вследствие воздействия промышленных помех, с целью их устранения посредством соответствующих организационных и технических решений. Это позволяет устанавливать дополнительные УПК только в тех местах, где, согласно алгоритму расчета помехи от ЛЭП при нормальных условиях, будут иметь существенную, но допустимую величину. Однако при ухудшении технических (старение изоляторов) или погодных (мощный грозовой фронт) условий велика вероятность превышения ими допустимых значений. Поэтому для контроля за целостностью дифференциального поля определяется необходимое количество УПК в зоне действия ККС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шахнов С. Ф.* Построение системы контроля дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS с использованием метода математической обработки параметров сигнала дифференциальной поправки / С. Ф. Шахнов, А. А. Агеева // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 402–413. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-402-413.
2. *Karetnikov V. V.* Construction Method of Telecommunication System for Corrective Information Distribution / V. V. Karetnikov, S. F. Shahnov, A. A. Ageeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2018. — Vol. 171. — Is. 1. — Pp. 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/171/1/012010.
3. *Шахнов С. Ф.* Помехозащищенность и устойчивость радиолиний речных дифференциальных подсистем ГНСС ГЛОНАСС/GPS: монография / С. Ф. Шахнов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. — 170 с.
4. *Шахнов С. Ф.* Предпосылки создания системы контроля и управления речной дифференциальной подсистемой системы ГЛОНАСС/GPS / С. Ф. Шахнов, А. А. Иванова // Речной транспорт (XXI век). — 2018. — № 2 (86). — С. 53–56.
5. *Вишневский Ю. Г.* Инфокоммуникационные технологии электромагнитной защищенности информационных каналов в автоматизированных системах управления движением судов: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ю. Г. Вишневский. — СПб.: СПбГУВК, 2008. — 391 с.
6. *Шахнов С. Ф.* Методологические основы построения помехоустойчивой речной дифференциальной подсистемы ГНСС ГЛОНАСС/GPS: диссертация ... д-ра техн. наук: 05.12.14 / Сергей Федорович Шахнов; [Место защиты: Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова]. — СПб., 2015. — 287 с.
7. *Уайт Д. Р. Ж.* Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи / Д.Р.Ж. Уайт. — М. «Сов. радио», 1977. — 352 с.
8. Линии электропередачи 345 кВ и выше: сб. трудов науч.-исследов. Ин-та энергетики США / Пер. с англ. В. В. Бургсдорфа. — М.: Энергия, 1980. — 408 с.
9. *Trichel G. W.* The mechanism of the negative point to plane corona near onset / G. W. Trichel // Physical Review. — 1938. — Vol. 54. — Is. 12. — Pp. 1078–1084. DOI: 10.1103/physrev.54.1078.
10. *Paillol J.* Negative corona in air at atmospheric pressure due to a voltage impulse / J. Paillol, P. Espel, T. Reess, A. Gibert, P. Domens // Journal of applied physics. — 2002. — Vol. 91. — Is. 9. — Pp. 5614–5621. DOI: 10.1063/1.1465124.

11. Карась В. И. Особенности излучения коронного разряда отрицательной полярности в воздухе в режиме импульсов Тричела / В. И. Карась, В. И. Голота, О. В. Болотов, Б. Б. Кадолин, Д. В. Кудин // Физика плазмы. — 2008. — Т. 34. — № 10. — С. 951–958.
12. Пелисье Р. Энергетические системы / Р. Пелисье. — М.: Высш. школа, 1982. — 568 с.
13. Шахнов С. Ф. К расчету помехозащищенности радиоканалов речной локальной дифференциальной подсистемы при использовании детерминированных сигналов и взаимных помех / С.Ф. Шахнов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 24–30.

## REFERENCES

1. Shakhnov, Sergei F., and Aleksandra A. Ageeva. "Construction of control system of differential subsystem of GLONASS/GPS with use of the method of mathematical processing of signal parameters of differential correction." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.2 (2017): 402–413. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-402-413.
2. Karetnikov, V. V., S. F. Shakhnov, and A. A. Ageeva. "Construction Method of Telecommunication System for Corrective Information Distribution." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 171. No. 1. IOP Publishing, 2018. DOI: 10.1088/1755-1315/171/1/012010.
3. Shakhnov, S. F. *Pomekhozashchishchennost' i ustoichivost' radiolinii rechnykh differentsial'nykh podsystem GNSS GLONASS/GPS: monografiya*. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2015.
4. Shakhnov, S. F., and A. A. Ivanova. "To the issue of formation of control and management system of the river differential subsystem of the global navigation satellite system GLONASS / GPS." *River transport (XXIst century)* 2(86) (2018): 53–56.
5. Vishnevskii, Yu. G. *Infokommunikatsionnye tekhnologii elektromagnitnoi zashchishchennosti informatsionnykh kanalov v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya dvizheniem sudov*. Dr. diss. SPb.: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet vodnykh kommunikatsii, 2008.
6. Shakhnov, S. F. *Metodologicheskie osnovy postroeniya pomekhoustoichivoi rechnoi differentsial'noi podsystemy GNSS GLONASS/GPS*. Dr. diss. Sankt-Peterburg, 2015.
7. Uait, D. R. Zh. *Elektromagnitnaya sovmestimost' radioelektronnykh sredstv i neprednamerennye pomekhi. Вып. 1. Obshchie voprosy EMS. Mezhsistemnye pomekhi*. М. «Sov. radio», 1977.
8. Burgsdorf, V. V., ed. *Transmission line reference book 345 KV and above*. New York: Electric Power Research Institute, 1975.
9. Trichel, G. W. "The mechanism of the negative point to plane corona near onset." *Physical Review* 54.12 (1938): 1078–1084. DOI: 10.1103/physrev.54.1078.
10. Paillol, J., P. Espel, T. Reess, A. Gibert, and P. Domens. "Negative corona in air at atmospheric pressure due to a voltage impulse." *Journal of applied physics* 91.9 (2002): 5614–5621. DOI: 10.1063/1.1465124.
11. Karas, V. I., V. I. Golota, O. V. Bolotov, B. B. Kadolin, and D. V. Kudin. "Specific features of radiation from a negative air corona operating in the trichel-pulse mode." *Plasma Physics Reports* 34.10 (2008): 879–884. DOI: 10.1134/S1063780X08100097.
12. Pelissier, Rene. *Les reseaux d'energie electrique*. Dunod, Paris, 1975.
13. Shakhnov, S. F. "To calculation of the noise-protection of the radio channels of river LDSS with the use of the deterministic signals and mutual disturbances." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(28) (2014): 24–30.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Иванова Александра Анатольевна** —  
 аспирант  
 Научный руководитель:  
 Шахнов Сергей Федорович  
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
 С. О. Макарова»  
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
 ул. Двинская, 5/7  
 e-mail: uid@gumrf.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ivanova, Aleksandra A.** —  
 Postgraduate  
 Supervisor:  
 Shakhnov, Sergei F.  
 Admiral Makarov State University of Maritime and  
 Inland Shipping  
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian  
 Federation  
 e-mail: uid@gumrf.ru

**Шахнов Сергей Федорович** —  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [shahnovsf@gumrf.ru](mailto:shahnovsf@gumrf.ru)

**Буцанец Артем Александрович** —  
аспирант  
*Научный руководитель:*

**Каретников Владимир Владимирович** —  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [butsanetsaa@gumrf.ru](mailto:butsanetsaa@gumrf.ru)

**Shakhnov, Sergei F.** —  
Dr. of Technical Sciences, associate professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [shahnovsf@gumrf.ru](mailto:shahnovsf@gumrf.ru)

**Butsanets, Artem A.** —  
Postgraduate  
*Supervisor:*

**Karetnikov, Vladimir V.** —  
Dr. of Technical Sciences, associate professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [butsanetsaa@gumrf.ru](mailto:butsanetsaa@gumrf.ru)

*Статья поступила в редакцию 28 мая 2019 г.  
Received: May 28, 2019.*