

## ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ НЕФТЕПРОВОДА

### INFOCOMMUNICATION MANAGEMENT SYSTEM OIL PIPELINE OPERATING MODES

**A. Dyomko  
O. Semenov**

*Summary.* This article presents the calculations for the modernization of the wireless network of instrumentation and automation on the pipeline. The antenna patterns of wireless devices, dependency graphs explaining the effect of electromagnetic interference on the radio signal are obtained. The telecommunication model can be used to solve the problems of designing communication systems for oil pipelines are considered.

*Keywords:* infocommunication control system, automation, oil pipeline, instrumentation, antenna, radiation pattern, wireless sensor, Fresnel zone, intra-channel interference.

**Дёмко Анатолий Ильич**

*К.т.н., доцент, Сургутский государственный университет  
dai321@mail.ru*

**Семенов Олег Юрьевич**

*К.ф.-м.н., доцент, Сургутский государственный университет  
ous.tutor.phinma@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе представлены расчёты по модернизации беспроводной сети контрольно-измерительных приборов и автоматики на нефтепроводе. Получены диаграммы направленности антенн беспроводных устройств, графики зависимостей, поясняющие влияние электромагнитных помех на радиосигнал. Рассмотренная телекоммуникационная модель может быть применена для решения задач проектирования систем связи нефтепроводов.

*Ключевые слова:* инфокоммуникационная система управления, автоматизация, нефтепровод, контрольно-измерительные приборы, антенна, диаграмма направленности, беспроводной датчик, зона Френеля, внутри-канальные помехи.

**М** агистральные нефтепроводы служат для транспортировки нефти на десятки тысяч километров от места добычи до центрального места сбора всей полученной нефти. Огромная протяжённость нефтяных трубопроводов в различных климатических зонах, в том числе и под землей значительно усложняет обслуживание и мониторинг их работы [1, 2]. Во избежание экономических потерь, аварий и неполадок необходимо применять методы дистанционного контроля и современные системы обнаружения утечек. Отличительной чертой обслуживания нефтепроводов является особая ценность транспортируемого продукта и опасность для окружающей среды, что увеличивает риски при возникновении дефектов [3–5].

Технологическая схема на нефтепроводе может быть довольно обширной, но в рамках данной работы рассматриваются участки, где присутствует контрольно-измерительные приборы и управляющие механизмы, то есть узлы запорной арматуры (УЗА). Количество таких участков зависит от инфраструктуры всего нефтяного месторождения. В работе рассмотрен участок нефтепровода протяженностью в 20 км. Начальной точкой нефтепровода служит дожимная насосная станция (ДНС), а конечной точкой является центральная перекачивающая станция (ЦПС). Нефтяной трубопровод оборудован тремя узлами

запорной арматуры. На каждом его участке применяются: блок автоматики для сбора и передачи информации на базовую станцию (БС), автоматизированное рабочее место диспетчера (АРМ), система контроля несанкционированного доступа на объект, задвижки с электроприводом, беспроводные датчики и приборы контроля (рис. 1).

Модернизация инфокоммуникационной системы нефтепровода предполагает установку беспроводного датчика давления, беспроводного датчика температуры, а также *THUM* — *адантера Rosemount 775*, который преобразует проводной сигнал в беспроводной. Информация с датчиков, основные и дополнительные параметры, будут передаваться по беспроводному протоколу *WirelessHART*. Данное решение предполагает отказ от контрольных кабелей и переход на беспроводную систему связи. В эстакаде от блока автоматики до задвижки будут применяться силовые кабели, идущие на электропривод задвижек [6, 7].

Для передачи данных с узлов запорной аппаратуры до сервера сбора информации будет использоваться модуль радиомодема совместно с радиостанцией *Motorola GM340*. В данном решении передачи данных применяется радиорелейная линия связи для системы

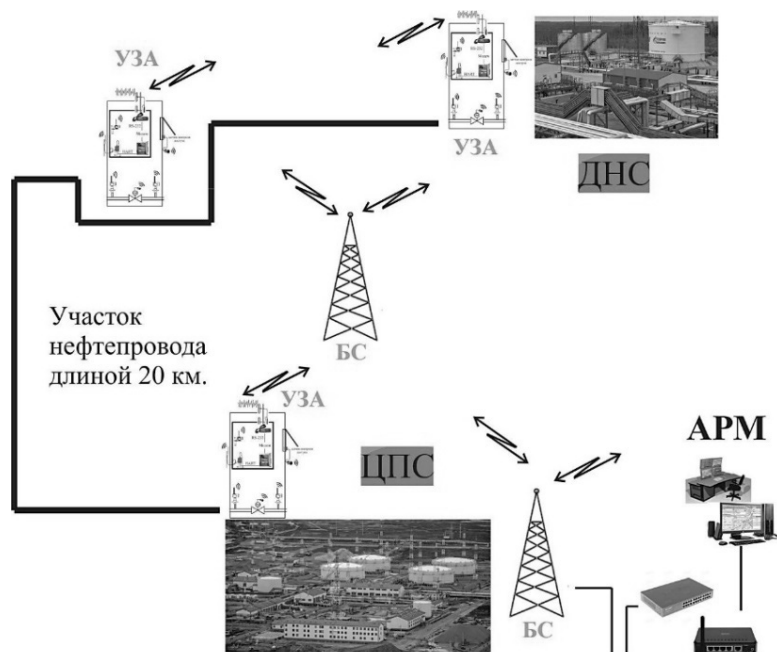


Рис. 1. Схема телекоммуникационной промышленной сети на месторождении

с пятью объектами автоматизации. Через каждый объект на трубопроводе передается пакет информации в общую автоматизированную систему, адрес передающего устройства и пакет данных. Это позволит объединить весь технологический процесс на данном участке трубопровода [8, 9].

В качестве датчика с передачей параметров давления в нефтепроводе применяются — *Rosemount 3051S*, а температурного датчика — *Rosemount 648*, который будет измерять температуру блока автоматики. Эти датчики являются беспроводными и подключаются по интерфейсу через шлюз, который в свою очередь будет соединен с контроллером сбора информации через сеть *Ethernet* по протоколу *Modbus TCP*, скорость передачи при этом устанавливается 9600 бит/с [9–12].

Модернизация сети из трех объектов связи на участках в 20 км представлена с учетом расположения нефтяного объекта. В нашем случае объекты связи будут проходить вблизи нефтепровода, обеспечивая непрерывный мониторинг и управление работой трубопровода.

Для размещения оборудования необходимо руководствоваться проектной документацией по автоматизации технологического объекта. Оборудование будет состоять из аппаратно-технического комплекса, в который входят: устройства сопряжения, шлюз для беспроводной радиосвязи с датчиков, контроллер, радиостанция и модем для преобразования радиосигнала в цифровой.

Программно-технический комплекс для обеспечения энергонезависимой работы оборудования подключен к источнику бесперебойного питания [12, 13].

Оборудование и беспроводные датчики давления устанавливаются непосредственно в нефтепровод на резьбовое соединение с обеих сторон задвижки. Для дистанционного открытия/закрытия задвижки на нефтепроводе применяется электропривод, напряжение на который подается от блока местной автоматики (БМА) по кабелю марки — *ВВГЭнг 2,5х4*. Также необходимо контролировать положение открытия или закрытия задвижки, эти данные будут передаваться по контрольному кабелю *КВВЭнг(а)-Is 4х1* в устройство ввода вывода дискретных сигналов. Для обеспечения радиосвязи объекта с базовой станцией в транкинговой сети используется широкополосная коллинеарная антенна модели *ТС330Д2-6*, выполненная на основе двух петлевых вибраторов. Антенна имеет круговую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости и диаграмму направленности в виде «восьмерки» в вертикальной плоскости с углом раскрытия  $\pm 30^\circ$ . По конструктивному исполнению антенна — грозозащищенная при условии заземления мачты, излучатели антенны короткозамкнуты на мачту и соединены с радиостанцией *Motorola GM340*.

В работе проанализированы два протокола для беспроводного оборудования *WirelessHART* и *ISA100.11a*, работающие на частоте 2,4 ГГц. На их основе строится защищенная и самоорганизующаяся архи-

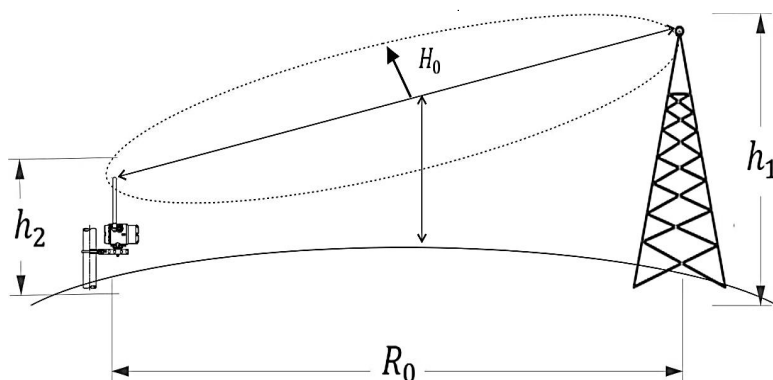


Рис. 2. Схема зон Френеля антенн

текстура по стандарту *IEEE802.15.4*. На каждом объекте связи два проводных датчика давления, один датчик температуры и адаптеры производства компании *Emerson*, связанные сетевой топологией «*Mesh*» с IP-адресом.

Для установки приборов нужно руководствоваться двумя основными факторами: расстояние передатчика до приемника и выбранная среда распространения радиоволн, что может повлиять на помехоустойчивость передаваемого сигнала. Это прежде всего наличие или отсутствие препятствий и радиоволновая активность в данной местности [12–14]. Расстояние от датчика *Rosemount 3051S*, работающего на частоте сигнала 2,4 ГГц, до шлюза согласно условиям работы не более 100 метров, коэффициент ослабления будет равен 20.

Для вычисления величины затухания сигнала (ослабление при распространении сигнала) в децибелах применяют формулу:

$$L_p = X \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c}\right), \quad (1)$$

где  $X$  — коэффициент ослабления сигнала,  
 $d$  — расстояние от точки передачи,  
 $f$  — частота сигнала,  
 $c$  — скорость электромагнитной волны равная  $3 \cdot 10^8$  м/с.

Подставив данные значения в выражение (1), получим:

$$L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 24 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8}\right) = 80,04 \text{ дБ}, \quad (2)$$

затухание сигнала для беспроводного датчика [13].

Радиус работы датчика  $R = 50$  м, расстояние между 1 и 2 антенной  $R_0 = 100$  м и коэффициент  $K$  — сравнительная координата наивысшей точки профиля (рис. 2) рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{R}{R_0} = \frac{50}{100} = 0,5. \quad (3)$$

Длина волны определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (4)$$

где  $c$  — это скорость электромагнитной волны,

$f$  — рабочая частота.

Из формулы (4) длина волны —  $\lambda$  будет равняться:

$$\lambda = \frac{2,99 \cdot 10^8}{24 \cdot 10^8} = 0,125 \text{ м}. \quad (5)$$

Радиус зоны Френеля (рис. 2)  $H_0$  будет равен:

$$H_0 = \sqrt{\frac{R_0 \cdot \lambda \cdot K \cdot (1-K)}{3}} = \sqrt{\frac{100 \cdot 0,125 \cdot 0,5 \cdot (1-0,5)}{3}} = 1,021 \text{ м}. \quad (6)$$

При проектировании нужно учитывать, что высота антенны будет ограничена отсутствием дополнительных сооружений для выносной антенны передатчика, её высоту будем рассматривать при отсутствии рефракции. Радиус зоны Френеля в любой точке от датчика до шлюза будет составлять 1,1 метра, а за координату наивысшей точки принимается место установки шлюза [12–14].

Условие, при котором траектория радиоволн может считаться прямолинейной, будет допустимым, если рассчитан эквивалентный радиус Земли  $a_z$ :

$$a_z = \frac{a}{1 + \frac{a^2}{2}} \quad (7)$$

где  $a$  — это геометрический радиус Земли, равный 6370 км,

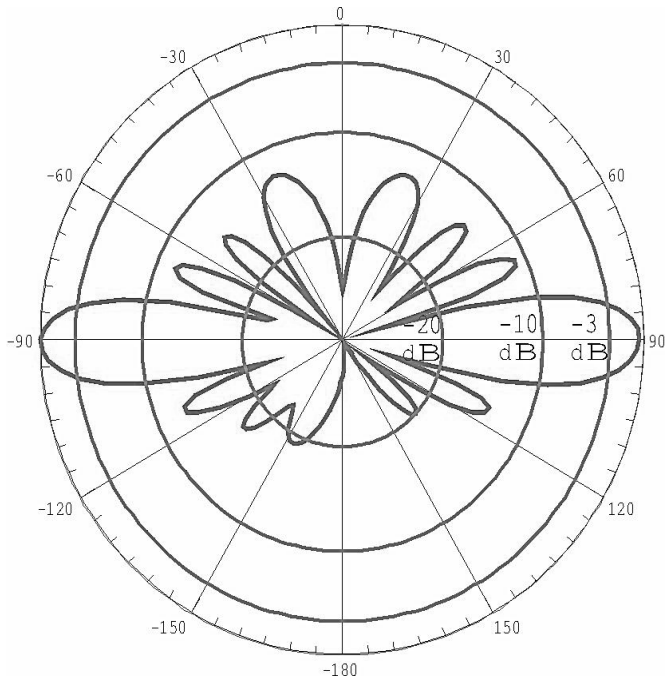


Рис. 3. Диаграмма направленности антенны датчика в вертикальной плоскости

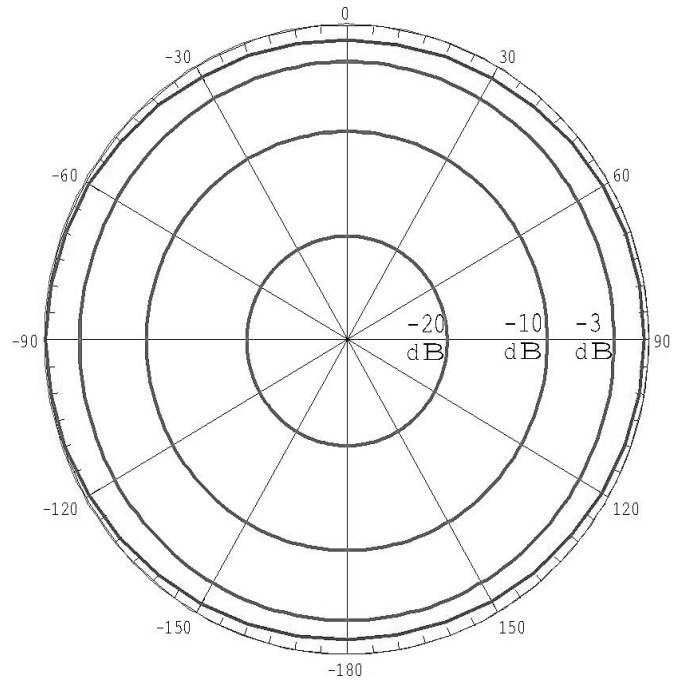


Рис. 4. Диаграмма направленности антенны датчика в горизонтальной плоскости

$g$  — значение эффективного вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха,  $m^{-1}$  ( $g = -10 \cdot 10^{-8} m^{-1}$ ).

$$a_3 = \frac{6370 \cdot 10^3 \text{ м}}{1 + \frac{6370 \cdot 10^3 \text{ м} \cdot (-10 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1})}{2}} = 9,347 \cdot 10^6 \text{ м.} \quad (8)$$

Радиосигнал может проходить на местности с высотой кустарников и мелких деревьев в 1 метр. Тогда суммарная высота трассы —  $H_e$  до точки приема будет равна  $1,1+1=2,1$  (сумме радиуса зоны Френеля и высоты растений). Для хорошего приёма сигнала от датчика антенну точки доступа (шлюза) можно установить на высоте блока местной автоматики (БМА) [15–17, 19].

Рекомендуемый просвет радиолинии будет составлять:

$$H = \frac{\left(h_1 - \frac{R_1^2}{2 \cdot a_3}\right) \cdot R_2 + \left(h_2 - \frac{R_2^2}{2 \cdot a_3}\right) \cdot R_1}{R_0} = \frac{\left(5 - \frac{50^2}{2 \cdot 9,347 \cdot 10^6}\right) \cdot 50 + \left(1 - \frac{50^2}{2 \cdot 9,347 \cdot 10^6}\right) \cdot 50}{100} = 3,01 \text{ м,} \quad (9)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  — высоты антенн шлюза и датчика, и соответственно  $R_2 = R_0 - R_1$ .

При расчетах применялась программа *MMANA-GAL Basic* [18] и были получены диаграммы направленности антенны беспроводного датчика с коэффициентом усиления в 5 дБм, показанные на рис. 3 и рис. 4.

При проектировании сети применена всенаправленная антенна *D-Link ANT24-0501* с коэффициентом усиления 5дБ. Её диаграммы направленности (ДН) в 3D-плоскости [18], горизонтальной и вертикальной плоскостях показаны на рисунках 5, 6 и 7 соответственно.

График зависимости коэффициента стоячей волны (КСВ) антенны от частоты сигнала представлен на рис. 8.

Оценим внутриканальные помехи устройств, работающих по протоколу *WirelessHART (IEC62591)* стандарта *IEEE802.15.4* с помощью метода минимальных совокупных потерь —  $L_{\text{МСП}}$ , и минимальный принимаемый сигнал —  $P_{\text{прм}}$  должен быть равен максимально возможной чувствительности —  $L_{\text{МВЧ}}$ , которая составляет -70 дБм. Тогда минимальный принимаемый сигнал приемника определяется формулой [12, 13]:

$$P_{\text{прм}} = L_{\text{МВЧ}} + 3 = -70 + 3 = -67. \quad (10)$$

Величину потерь распространения сигнала  $L_{\text{п}}(d)$  оценивают соотношением (11) в диапазоне частот 2,4 ГГц — 2,45 ГГц (дистанция более 20 метров):

$$L_{\text{п}}(d), \text{ дБ} = 63,7 + 20 \cdot \log \frac{100}{15} = 80,2 \text{ дБ,} \quad (11)$$

где  $d$  — дистанция, м.

Зависимость величины затухания сигнала от расстояния в открытом пространстве представлена на графиче-

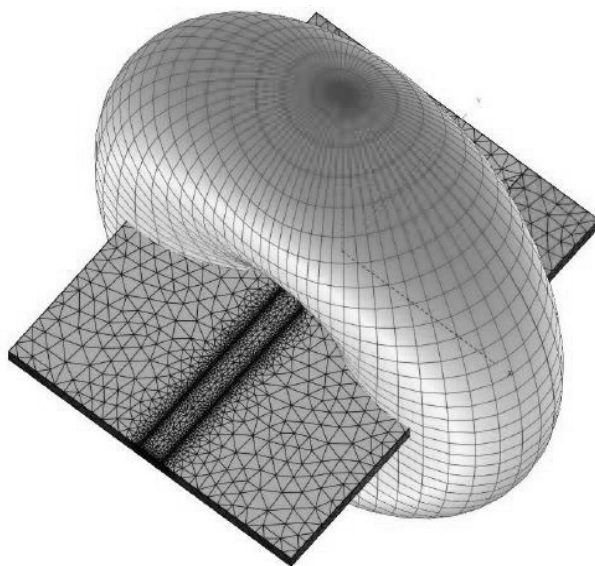


Рис. 5. Трёхмерный вид ДН антенны на частоте 2.4 ГГц

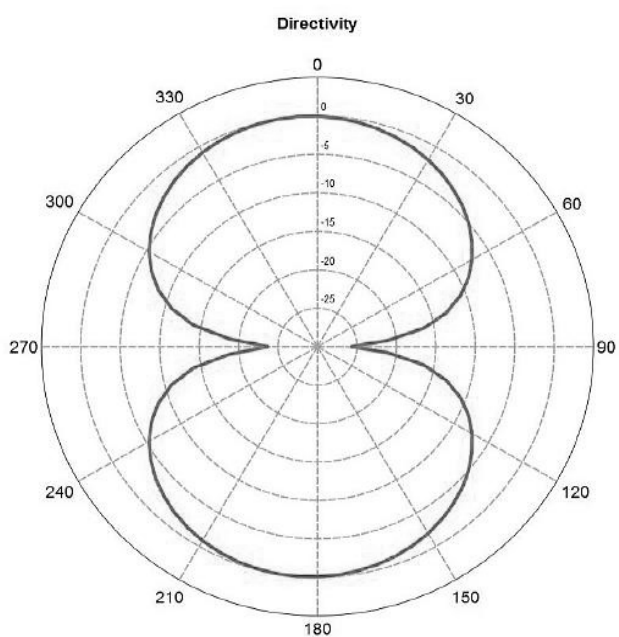


Рис. 6. Вид ДН антенны в горизонтальной плоскости

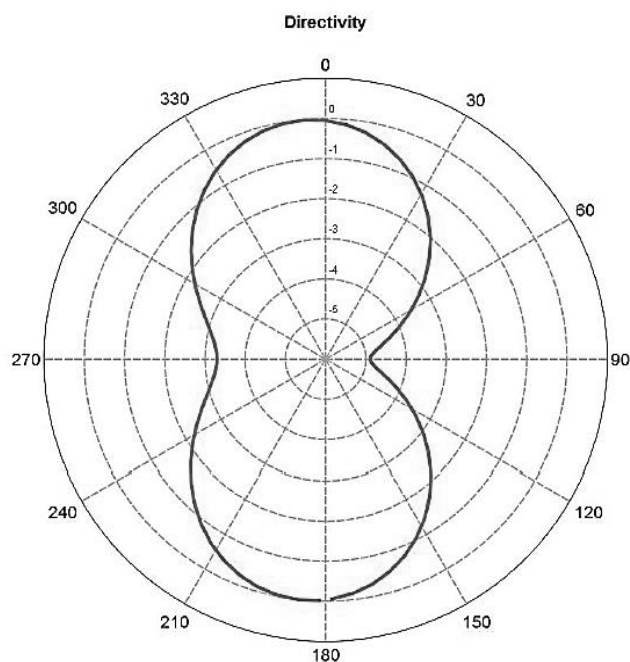


Рис. 7. Вид ДН антенны в вертикальной плоскости

ке (рис. 9) из которого видно, что  $L_{\Pi}(d)$  уменьшается с увеличением расстояния  $d$ .

Определим максимальную величину потерь по формуле:

$$L_{\text{МСП}} = P_{\text{прд}} - P_{\text{прм}} - \frac{c}{I} \quad (12)$$

где  $P_{\text{прд}}$  — эффективная изотропно-излучаемая мощность для интерферирующего передатчика, дБм;

$c/I$  — отношение сигнал-интерференция для приемника радиосигнала, дБ [13, 19].

Если выполняется равенство  $L_{\Pi} = L_{\text{МСП}}$ , то защитную дистанцию  $d$ , между передатчиком и приемником можно оценить из выражения:

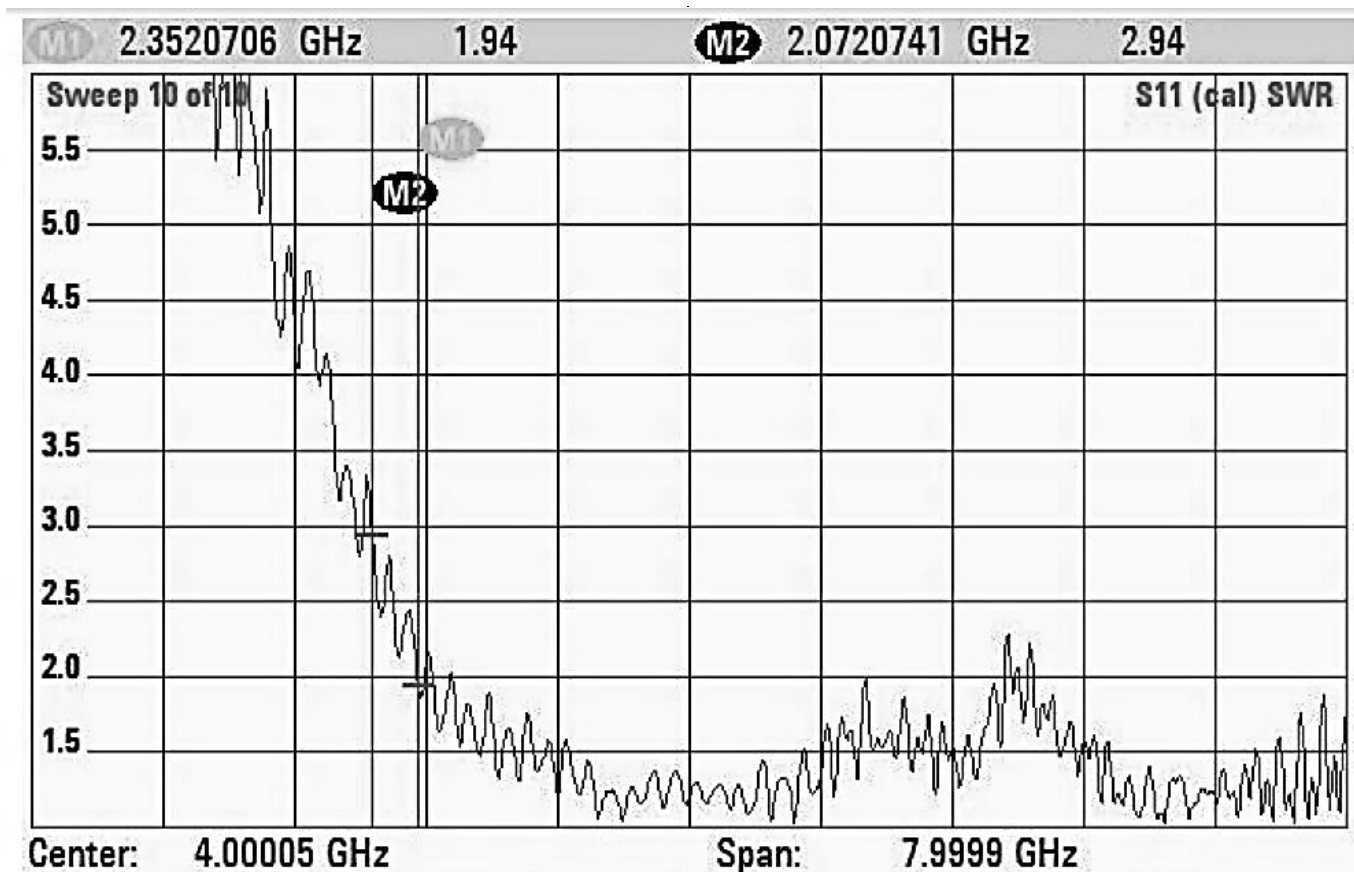


Рис. 8. График коэффициента стоячей волны (КСВ) антенны в зависимости от частоты

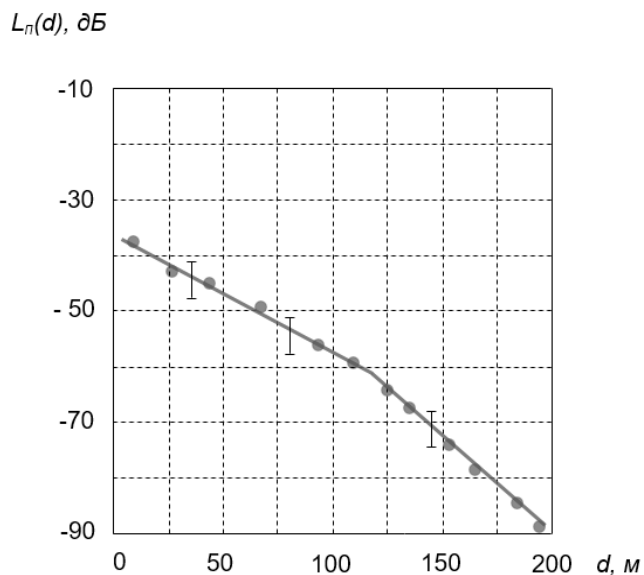


Рис. 9. Зависимость величины затухания сигнала от расстояния в свободном пространстве

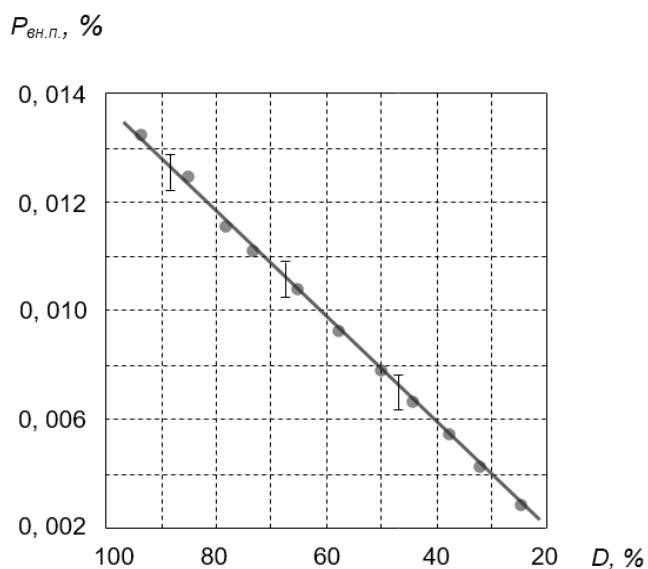


Рис. 10. Зависимость величины вероятности внутриканальной помехи от рабочего цикла

$$d_z = 15^{\frac{L_{\pi}-63,7}{30}}, \text{ при } L_{\pi} > 63,7. \quad (13)$$

Для корректной работы с другими беспроводными сетями связи полезно иметь функцию беспроводного управления. Устройства, работающие по протоколу *WirelessHART*, при нештатной работе, создают помехи для радиостанции *GM350 Motorola* на частоте 470 МГц.

Величина вероятности внутриканальной помехи  $P_{\text{вн.п}}$  для канала передачи от одного источника помех (*FHSS*-устройства) определяется выражением:

$$P_{\text{вн.п}} = D \cdot N^{-1}, \quad (14)$$

где  $D$  — рабочий цикл *FHSS* — устройства;  
 $N$  — число скачков частоты устройств *WirelessHART* [12, 13, 21].

Зависимость вероятности внутриканальной помехи сети от величины рабочего цикла *FHSS*-устройств представлена на графике (рис. 10).

Из графика зависимости (рис. 10) видно, что с уменьшением величины рабочего цикла устройств, создающих помехи, вероятность внутриканальной помехи уменьшается, а с ростом числа источников помех  $m$  ве-

роятность внутриканальной помехи в сети увеличивается и может быть найдена из выражения:

$$P_{\text{вн.п}} = D \cdot \left(1 - \left((N-1) \cdot N - 1\right) \cdot m\right). \quad (15)$$

Установка беспроводных приборов должна осуществляться по стандартам, и для их стабильной работы рекомендуется применять экранированные кабели, а также необходимо заземлять все оборудование на объекте связи [13, 19–21].

Рассмотренная телекоммуникационная сеть предназначена для мониторинга технологического процесса и управления оборудованием на нефтепроводе, который проходит по месторождению от ДНС до ЦПС протяженностью в 20 км. Данный вариант сети может быть применён не только на нефтепроводе, но и на других технологических объектах, требующих постоянного мониторинга с удаленной рабочей станцией оператора.

Работа выполнена в рамках проекта в области фундаментальных и прикладных исследований «Комплект приборов для экологического мониторинга и нефтегазового комплекса» при поддержке Департамента образования и молодежной политики (приказ от 25.08.2017 № 1281) Ханты-Мансийского автономного округа — Югры и Сургутского государственного университета.

#### ЛИТЕРАТУРА

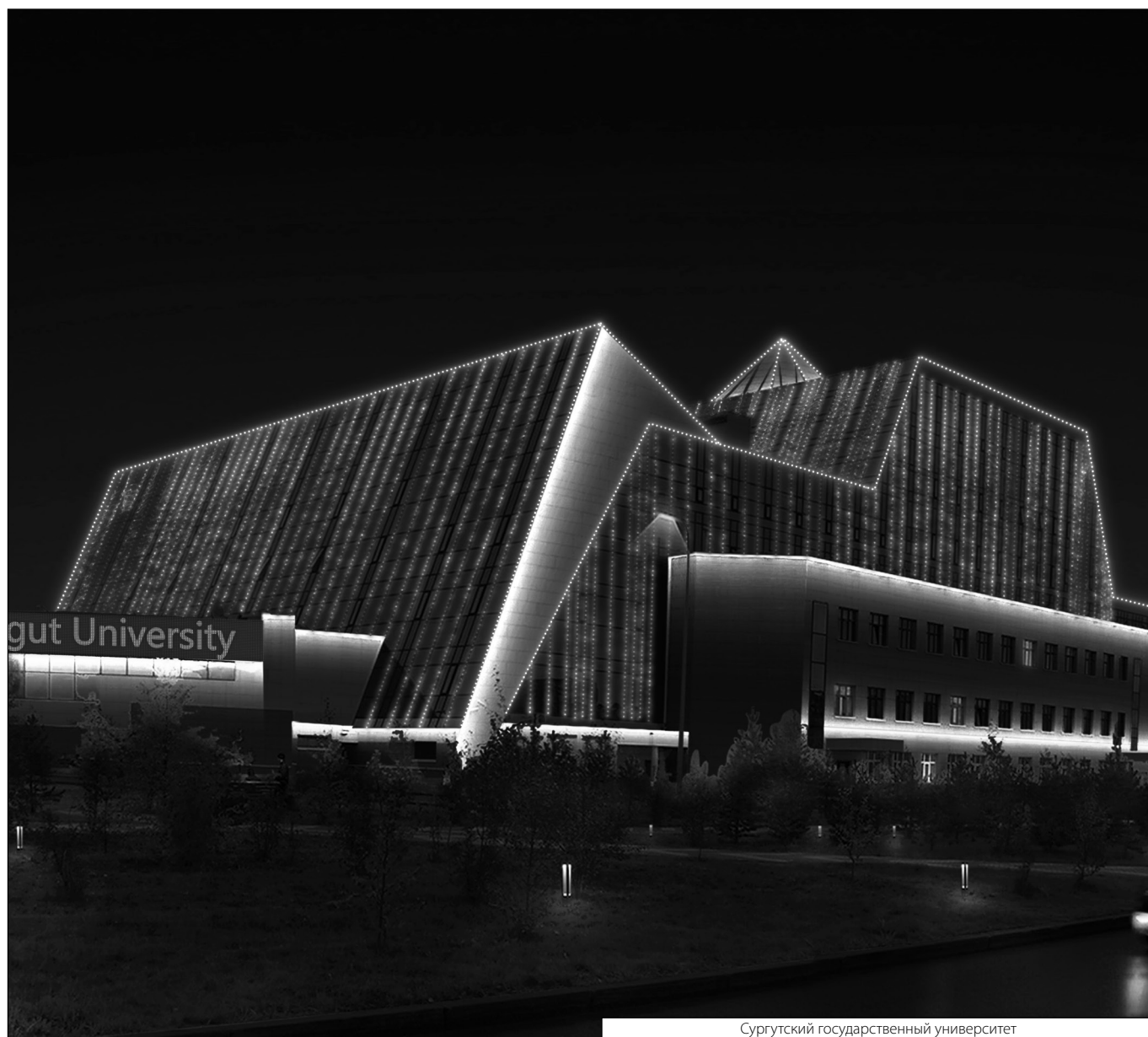
1. Кутуков С. Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов. — М.: СИП РИА, 2002. — 324 с.
2. Есаулов А. О., Текшева И. В. Моделирование систем управления нефтепроводом // Трубопроводный транспорт нефти. 2010. № 8. С. 63–65.
3. Бушмелева К. И. Автоматизированная геоинформационная система мониторинга технического состояния магистральных газопроводов / К. И. Бушмелева, И. И. Плюснин // Информационные технологии. — 2009. — № 5. — С. 68–72.
4. Semenov O. Yu. and Dyomko A. I. 2019 AIP Conf. Proc. (Omsk) vol. 2141 (Melville, NY: AIP Publishing) — pp. 050010–1–050010–10.
5. Ганиев М. И., Дёмко А. И., Семенов О. Ю. Применение пьезоэлектрических преобразователей в магнитоэлектрических уровнемерах // Технологии будущего нефтегазодобывающих регионов: сб. ст. Первой международной науч. — практич. конф. мол. учен. и спец. Первого междунар. молод. науч. — практич. форума «Нефтяная столица». 8–9 февр. 2018 г. Сургут: УНИИ СурГУ, 2018. С. 59–63.
6. Дёмко А. И., Семенов О. Ю. Методы построения OFDM-систем и обработки радиосигнала в программе MATLAB SIMULINK / Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». — 2019. — № 11–2. — С. 47–54.
7. Рашич А. В. Сети беспроводного доступа WiMAX: учебное пособие / А. В. Рашич; Издательство Политехнического университета. — СПб., 2011. — 180 с.
8. Семенов О. Ю. Организация связи передачи данных в SCADA-системе с нижним уровнем в автоматизированной системе управления технологического процесса / Давлетов Р. Р., Семенов О. Ю. // Роль физико-математического и инженерного образования в современном обществе: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Сургут, 7 ноября 2017 г.). — Сургут: гос. ун-т. — Сургут: ИЦ СурГУ, 2017. — С. 22–26.
9. Руководство по проектированию системы IEC62591 WirelessHART® Май — 2014 г. Редакция 04–109 с.
10. Семенов О. Ю. Подключение абонентов ТФОП к сети IP в рамках концепции NGN / Семенов О. Ю., Шафикова А. Ф. // Роль физико-математического и инженерного образования в современном обществе: материалы Всерос. науч. — практич. конф. (Сургут, 7 ноября 2017 г.). — Сургут: гос. ун-т. — Сургут: ИЦ СурГУ, 2017. — С. 82–85.
11. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ — Петербург, 2010. — 400 с., ил.
12. Рекомендация МСЭ-R P. 834–5. Влияние тропосферной рефракции на распространение радиоволн. (Вопрос МСЭ-R201/3). — 2005. — 14 с.
13. Будяк В. С., Сидоров Д. В., Клименко Т. Б. Электромагнитная обстановка автоматизированных модульных узлов радиосвязи / Омский научный вестник. 2014. № 1 (127). С. 201–205.
14. Mihai I. V., Tamas D. R., Sharaiha A. A. Technique for Radar Cross Section Measurements in the Fresnel Region. IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett. 2019, vol. 18, — pp. 1149–1153.

15. Lesanu C.E., Done A. "Parasitic circular polarized vertical antennas," 2016 International Conference on Development and Application Systems (DAS), Suceava, 2016, pp. 143–149. doi: 10.1109/DAAS.2016.7492564.
16. Аббасова Т. С. Обеспечение помехозащищенности беспроводных устройств телекоммуникационных систем / Инфокоммуникационные технологии. — 2015. — Т. 13, № 1. — С. 88–93.
17. Беломойцев Д.Е., Волосатова Т. М. Технологии и библиотеки методов построения пикосетей мобильных устройств — Москва: Новые технологии, 2006. — 32 с.: ил.
18. Программа моделирования антенн MMANA-GAL basic 3.0.0.30: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.radio.ru/mmana/> (дата обращения: 25.03.2020 г.).
19. Куюн А. В. Исследование электромагнитной совместимости излучающих радиосистем малого радиуса действия / Радиотехника. — 2007. — С. 16–20.
20. Артюшенко В.М., Корчагин В. А. Моделирование вероятности появления внутриканальных и интермодуляционных помех при высокой плотности размещения беспроводных устройств с малым радиусом действия / Приволжский научный вестник. — 2014. № 4 (32). С. 33–41.
21. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебное пособие / Под ред. д.т.н., проф. М. А. Быховского. — М.: Эко-Трендз, 2006. — 376 с.

---

© Дёмко Анатолий Ильич ( dai321@mail.ru ), Семенов Олег Юрьевич ( ous.tutor.phinma@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Сургутский государственный университет