

Заседателева Полина Сергеевна, аспирант Кафедры экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-917-117-83-86

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

Рябушкин Аркадий Викторович, инженер Кафедры «Мультисервисные сети и информационная безопасность» ПГУТИ. Тел. (8-846) 339-11-43. E-mail: ryabushkin@psati.ru

Шашенков Валерий Федорович, к.т.н., с.н.с., соискатель Кафедры ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-903-144-50-75. E-mail: maslov@psati.ru

УДК 621.396.677; 621.397.671

## АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЛУЧАЙНОЙ АНТЕННЫ

*Заседателева П.С., Маслов О.Н., Рябушкин А.В., Шашенков В.Ф.*

Рассматривается проблема моделирования сигналов и активных преднамеренных помех, используемых в системе информационной защиты распределенной случайной антенны (РСА).

**Ключевые слова:** активная защита информации, распределенные случайные антенны, используемые сигналы и помехи

### Введение

Как разновидность случайных антенн (см. классификацию [1]) распределенные случайные антенны (РСА) изучены в настоящее время недостаточно полно. Способы защиты конфиденциальной информации (КИ), утечка которой из подлежащих защите помещений (ПЗП) может происходить через РСА, также имеют ряд неисследованных особенностей [2-4]. Это объясняется целым рядом причин, основными из которых являются:

- сложный и часто непредсказуемый характер возбуждения РСА, связанный с преобразованием исходного КИ-сигнала в сигналы, расходящиеся по соединительным линиям (СЛ), образующим РСА. Источниками КИ-сигналов могут быть как основные (непосредственно участвующие в обработке, хранении, передаче и приеме КИ) технические средства (ТС), так и вспомогательные (не участвующие в указанных процессах, но находящиеся в подлежащем защите помещении (ПЗП) устройства: ЭВМ, офисное оборудование и т.п.; фрагментами РСА являются СЛ систем электропитания, заземления, сигнализации и связи;

- существенно разный характер распространения КИ-сигналов внутри ПЗП и в СЛ, образующих РСА, – с помощью которых ТС, размещенные в ПЗП, подключаются к внешнему оборудованию и по которым КИ-сигналы могут с малым затуханием уходить за пределы ПЗП и становиться

доступными для злоумышленника – недобросовестного конкурента, специалиста коммерческой разведки и др.;

- труднопреодолимые сложности моделирования (математического, физического, компьютерного) источников КИ-сигналов и СЛ, выступающих в роли РСА;

- негативная динамика эколого-эргономических характеристик ПЗП при использовании большинства известных методов и средств ликвидации каналов утечки КИ через РСА, приводящих к удорожанию оборудования, необходимого для информационной защиты ПЗП;

- невозможность использовать отработанные и надежные способы пассивной защиты СЛ (электромагнитное экранирование, заземление, фильтрация КИ-сигналов) для защиты РСА (например, в виде системы труб или металлических конструкций здания), ввиду чего главным средством обеспечения информационной герметичности ПЗП является активная защита КИ – с использованием различного рода преднамеренных (заградительных шумовых, имитационных и т.п.) помех;

- возможность использования злоумышленником за пределами ПЗП высокоэффективной стационарной аппаратуры для обработки КИ-сигналов, которые с малым затуханием «транспортируют» ему туда РСА и т.д.

Важное значение для проектирования систем защиты КИ имеют анализ и моделирование сигналов и помех, циркулирующих в РСА, которые состоят из СЛ со сложной и разветвленной (многоэтажной и многоэлементной) структурой – таких, как сети электропитания, заземления, оповещения, охранной и пожарной сигнализации; линии внешней, внутриофисной и компьютерной связи; системы труб вентиляции и центрального

отопления; металлические части несущих конструкций в многоэтажных зданиях [2].

Цель статьи – обсуждение результатов экспериментальных исследований, проведенных в данном направлении, а также подтверждение новых возможностей, которые дает применение помех мультипликативного типа для повышения эффективности информационной защиты РСА.

### Экспериментальное исследование КИ-сигналов, возбуждающих РСА

Рассмотрим вариант возбуждения РСА с помощью сосредоточенной случайной антенны (СА) в виде ЭВМ, облучаемой СВЧ-сигналом. Данный вариант интересен своей наглядностью – благодаря чему в ПГУТИ была запланирована лабораторно-практическая работа, призванная продемонстрировать один из способов искусственного формирования каналов утечки КИ. Схема экспериментальной установки достаточно проста и включает на передающей стороне – генератор НР 83751А в комплекте с рупорной антенной, воздействующей на исследуемый компьютер (далее – объект), на приемной стороне – анализатор спектра 8562ЕС производства Agilent Technologies в комплекте с приемником RBW и аналогичной антенной, подключенный к портативной ЭВМ.

При выполнении работы для каждой из частот зондирующего СВЧ-сигнала при помощи анали-

затора 8562ЕС фиксировались энергетический спектр (ЭС) сигнала, излучаемого генератором НР 83751А; ЭС электромагнитного фона в ПЗП и ЭС собственного излучения объекта, а также ЭС переизлученного объектом сигнала, переносящего КИ.

Цель трехэтапной обработки спектрограмм, приведенных на рис. 1-3, состояла в том, чтобы показать студентам возможность обнаружения сигналов, переносящих КИ, несмотря на аппаратные сложности, характерные для этого процесса. Первый этап иллюстрирует рис. 1, где достаточно четко видны ЭС сигнала внешнего воздействия (зондирования объекта) на частоте 2,25 ГГц и ЭС собственного излучения объекта вблизи частот 2,263 ГГц и 2,247 ГГц – однако в составе ЭС переизлученного объектом сигнала не удастся различить ИМ-компоненты с частотами, кратными 31 кГц, относящиеся к тестовому КИ-сигналу. В то же время в составе последнего из упомянутых ЭС присутствуют составляющие, симметрично расположенные относительно частоты зондирования, с частотами отстройки, кратными 3,1 МГц – что является результатом вторичной модуляции зондирующего сигнала работающим объектом при преобразовании его в КИ-сигнал.

На втором этапе увеличение времени анализа при уменьшении полосы пропускания RBW до 1 кГц позволяет снизить уровень шума, регис-

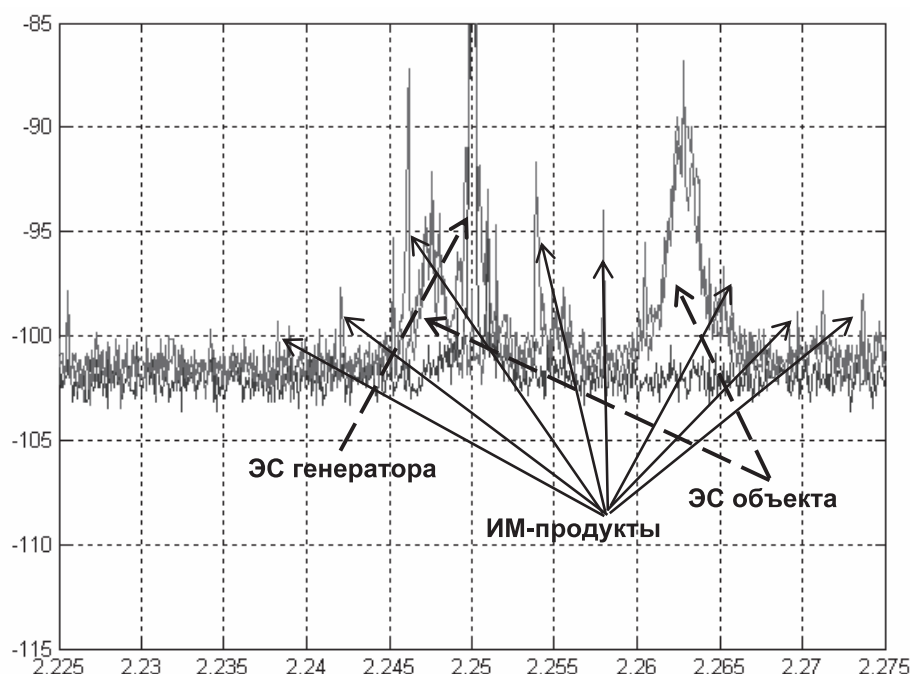


Рис. 1. Спектрограммы сигнала внешнего воздействия с частотой 2,25 ГГц (ЭС генератора); собственного излучения исследуемого компьютера вблизи частот 2,263 и 2,247 ГГц (ЭС объекта) и переизлученного компьютером КИ-сигнала (ИМ-продукты)

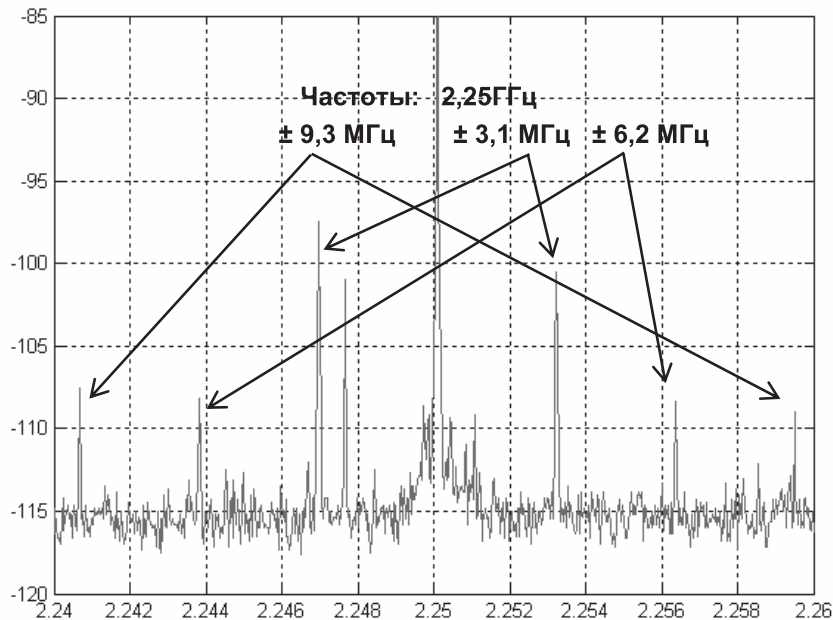


Рис. 2. Спектрограмма переизлученного объектом сигнала при полосе сканирования 20 МГц и полосе пропускания RBW 1 кГц

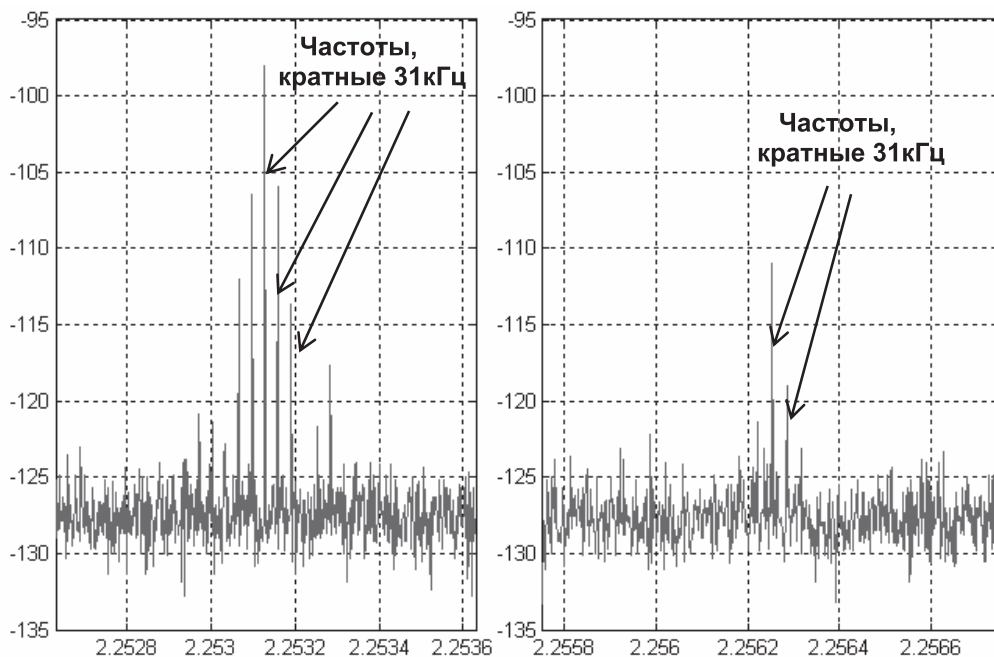


Рис. 3. Детализированные ЭС сигнала, переизлученного объектом, при полосе пропускания RBW 100 Гц

трируемый анализатором 8562ЕС, и повысить достоверность регистрации составляющих ЭС переизлученного объектом сигнала: в частности, обнаружить частоты кратные  $\pm 3,1$  МГц (см. рис. 2). На третьем этапе уменьшение полосы RBW до 100 Гц позволяет провести детальный анализ в окрестности спектральных составляющих кратных 3,1 МГц и увидеть тонкую структуру ЭС тестового КИ-сигнала (см. рис. 3) с компонентами, разнесенными на 31 кГц.

Изложенное подтверждает, что как естественные, так и формируемые искусственным путем каналы утечки КИ не являются виртуальными объектами, но существуют в реальности и могут быть обнаружены после теоретического прогнозирования их параметров и свойств – при соответствующем методическом и инструментальном обеспечении проводимых измерений.

Помимо убедительности данного вывода для будущих специалистов в области защиты КИ, он

имеет и важное практическое значение: поскольку позволяет определить условия, при которых ТС, размещенные в ПЗП, могут выступать в роли СА, эффективно возбуждающих РСА, что и требует применения информационной защиты последней.

### Исходные данные для исследования сигналов СОМ

Внешний вид изделия «СОМ» (далее – СОМ), являющегося совместной разработкой ПГУТИ и ООО «РЕНОМ» (г. Москва), показан на рис. 4. Схему подключения СОМ к РСА в виде фраг-

мента сети электропитания 220 В; 50 Гц и источнику тестового КИ-сигнала на экспериментальном лабораторном стенде иллюстрирует рис. 5. Целью тестирования и испытания СОМ в лабораторных условиях является подтверждение его работоспособности и практической эффективности применения для информационной защиты РСА. Одновременно были получены экспериментальные данные о сигналах и помехах, циркулирующих в защищенной РСА, которые представляют интерес для разработчиков указанных систем защиты КИ.

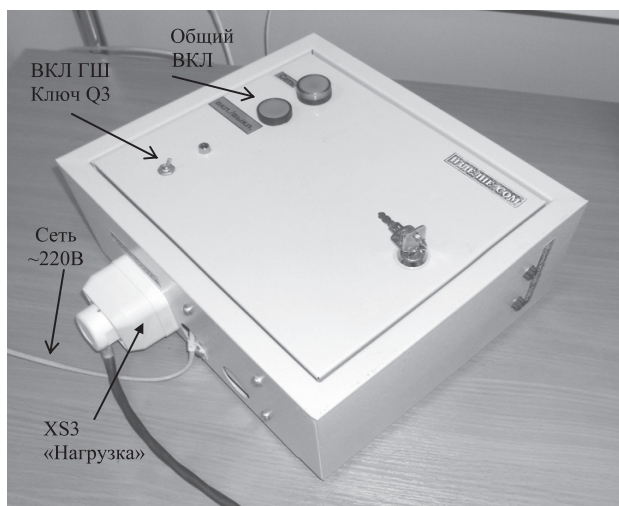


Рис. 4. Внешний вид изделия СОМ

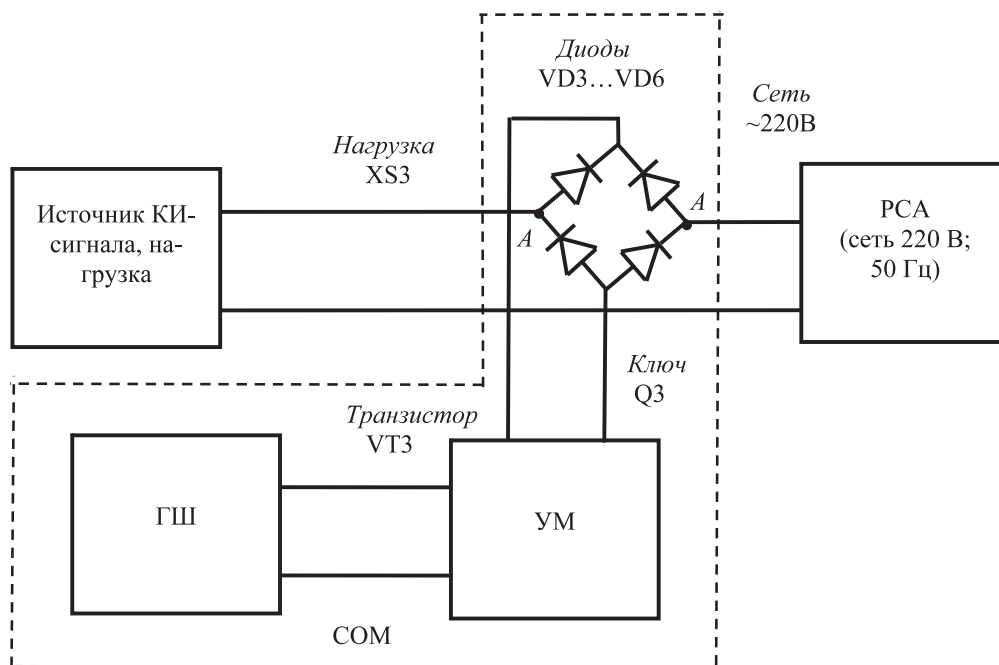


Рис. 5. Схема подключения СОМ к РСА и источнику КИ-сигнала на экспериментальном лабораторном стенде

Схема на рис. 5 включает защищаемую РСА и источник тестового КИ-сигнала, в роли которого могут выступать генератор Г4-143 и монитор SAMSUNG SyncMaster 753DFX; а также устройство СОМ, элементы которого (генератор шумового сигнала ГШ; усилитель-модулятор УМ и диодный мост VD3...VD6) обведены штриховым контуром. В соответствии с паспортными данными СОМ на схеме обозначены точки подключения к СОМ источника КИ-сигнала «Нагрузка XS3» и РСА «Сеть ~220 В»; выходной элемент ГШ «Транзистор VT3»; переключатель «Ключ Q3», с помощью которого ГШ и УМ коммутируются к вертикальной диагонали диодного моста VD3...VD6, горизонтальная диагональ которого подключена между источником КИ-сигнала и РСА в точках А-А (см. рис. 4). В качестве измерительных приборов при проведении экспериментов использовались анализатор спектра FS300 производства Rodhe&Schwarz и осциллограф АКИП 4113/2. Съём сигналов с РСА на расстоянии  $l = 1 \dots 12$  м от СОМ осуществлялся при помощи кольцевого ферритового и многовиткового индуктивного съёмников.

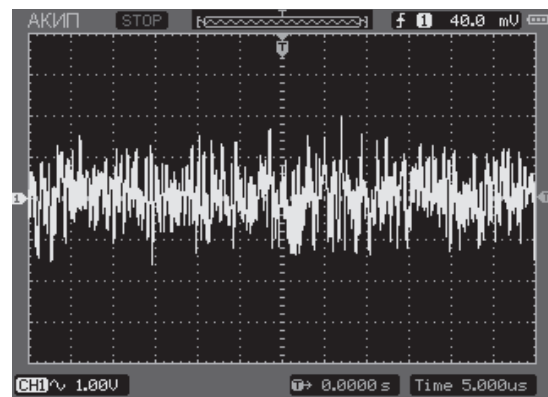
Конструкция и принцип действия СОМ таковы, что защита КИ в РСА с его помощью осуществляется двумя способами: во-первых, за счет прямого прохождения сигнала ГШ через УМ и непосредственного воздействия на РСА в качестве  $U_{МП}(t)$  – аддитивной шумовой помехи заградительного типа; во-вторых, за счет внесения в тракт прохождения КИ-сигнала по РСА в точках А-А сопротивления  $R_{МП}(t)$  в процессе стохастической амплитудной модуляции (АМ), что эквивалентно применению в СОМ помехи мультипликативного типа (МП) вида  $U_{МП}(t)$ .

Указанные обстоятельства необходимо учитывать при организации и проведении экспериментального исследования и физического моделирования сигналов, циркулирующих в защищенной при помощи СОМ проводной РСА.

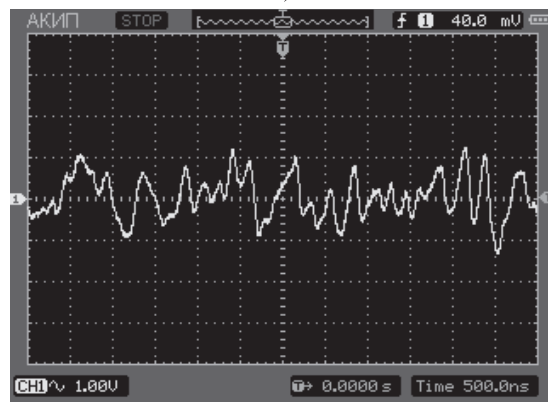
### Результаты исследования «внутренних» сигналов СОМ

Первой задачей проводимых исследований являлось тестирование «внутренних» сигналов СОМ, относящихся к контуру, ограниченному штриховой линией на рис. 5. На рис. 6а-б представлены спектрограммы сигналов на выходе генератора шума ГШ (на затворе транзистора VT3, управляющего усилителем и стохастическим АМ-модулятором, – см. блок УМ на рис.

5) при отключенной нагрузке (ключ Q3 разомкнут). Период развертки используемого осциллографа АКИП 4113/2 равен, соответственно, 5 мкс и 500 нс.



а)



б)

Рис. 6. Осциллограммы сигналов на выходе ГШ (затвор VT3), управляющих стохастическим АМ-модулятором, при отключенной нагрузке (ключ Q3 разомкнут): а) период развертки 5 мкс; б) 500 нс

Аналогичные спектрограммы на рис. 7а-б соответствуют подключенной к ГШ нагрузке (ключ Q3 замкнут). Из сравнения графиков на рис. 6-7 видно, подключение нагрузки к ГШ, а следовательно и к СОМ, во-первых, «подсаживает» шумовой сигнал по уровню за счет входного импеданса транзистора VT3; во-вторых, изменяет его «симметричность» относительно среднего уровня – что видно при всех частотах (периодах) развертки по экрану осциллографа АКИП.

Эффект асимметричности сигнала, управляющего стохастическим АМ-модулятором в составе СОМ, еще более заметен по осциллограммам, приведенным на рис. 8, которые соответствуют напряжению в диагонали диодного блока VD3...VD6 на схеме рис. 5. Этот эффект необходимо учитывать при моделировании закона распределения сопротивления

РМП (t), вносимого СОМ в точках А-А подключения источника КИ-сигнала к РСА [5], благодаря чему он и подвергается стохастической АМ.

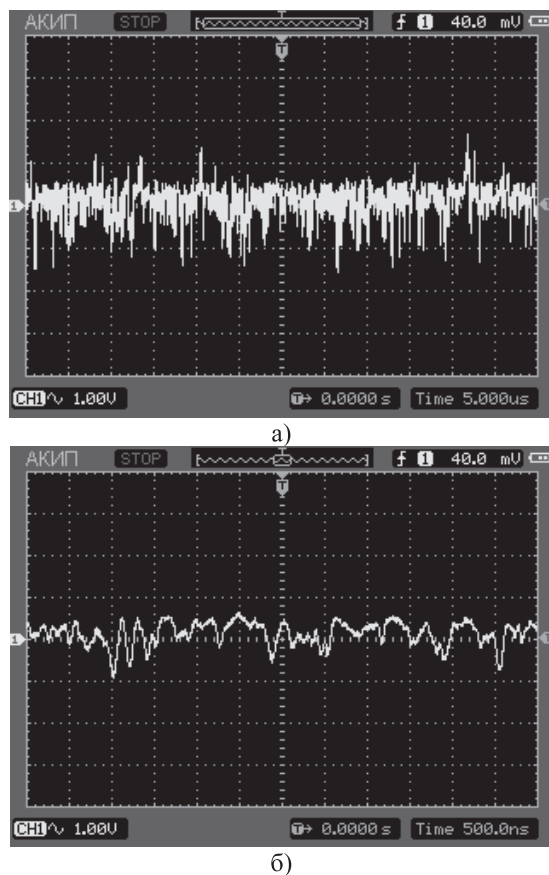


Рис. 7. Осциллограммы сигналов на выходе ГШ (затвор VT3), управляющих стохастическим АМ-модулятором, при подключенной нагрузке (ключ Q3 замкнут): а) период развертки 5 мкс; б) 500 нс

### Результаты исследования сигналов в РСА

Вторая задача предусматривала анализ свойств КИ-сигнала и сигнала СОМ, наблюдаемых в РСА. Методика измерений предусматривала подключение генератора Г4-143 или монитор SAMSUNG SyncMaster 753DFX в точках «Нагрузка XS3» на рис. 5 и поочередное размещение двух измерительных приборов: анализатора FS300 и осциллографа АКИП в РСА на расстоянии  $l = 1$  м от СОМ со стороны точек «Сеть ~220 В». Спектрограммы смеси указанных сигналов (верхние графики) для РСА в виде линии электропитания 220 В; 50 Гц, на частотах до 100 МГц демонстрирует рис. 9: источниками КИ-сигнала являются генератор Г4-143 и монитор SAMSUNG SyncMaster 753DFX. Уровню фона

по ЭМП в помещении лаборатории (при отключенных Г4-143 и СОМ) соответствуют нижние графики.

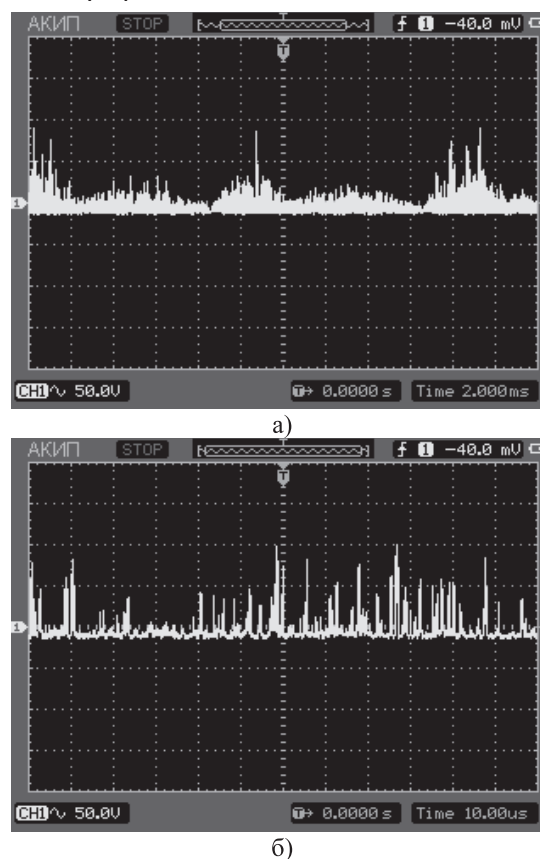


Рис. 8. Осциллограммы напряжения в диагонали блока VD3...VD6, управляющего стохастическим АМ-модулятором СОМ (ГШ включен, нагрузка подключена) при тестовом сигнале генератора Г4-143 с частотой 40 МГц: а) период развертки 2 мс; б) 10 мкс

Из спектрограмм на рис. 9 видно, во-первых, что при включенном СОМ и подключенной к нему нагрузке на частотах до 30 МГц наблюдается прохождение шумового сигнала в РСА – что ведет к маскировке тестового КИ-сигнала шумовой заградительной АП (которая лучше проявляется на частоте 25 МГц и хуже на частоте 40 МГц).

Во-вторых, можно также отметить, что форма ЭС смеси КИ-сигнала и указанной АП в большей степени определяется ЭС шумового сигнала СОМ и характером нагрузки: активной в случае генератора Г4-143 и пассивной в случае монитора SAMSUNG SyncMaster 753DFX, и в существенно меньшей степени зависит от параметров устройства съема КИ-сигнала с РСА (кольцевой ферритовый съемник; многovitковый индуктивный съемник и т.п.). Поскольку сделать вывод о наличии МП по спектрограммам рис. 9 невозможно, необходимо исследовать осциллограммы сигналов, соответствующих данным ЭС.

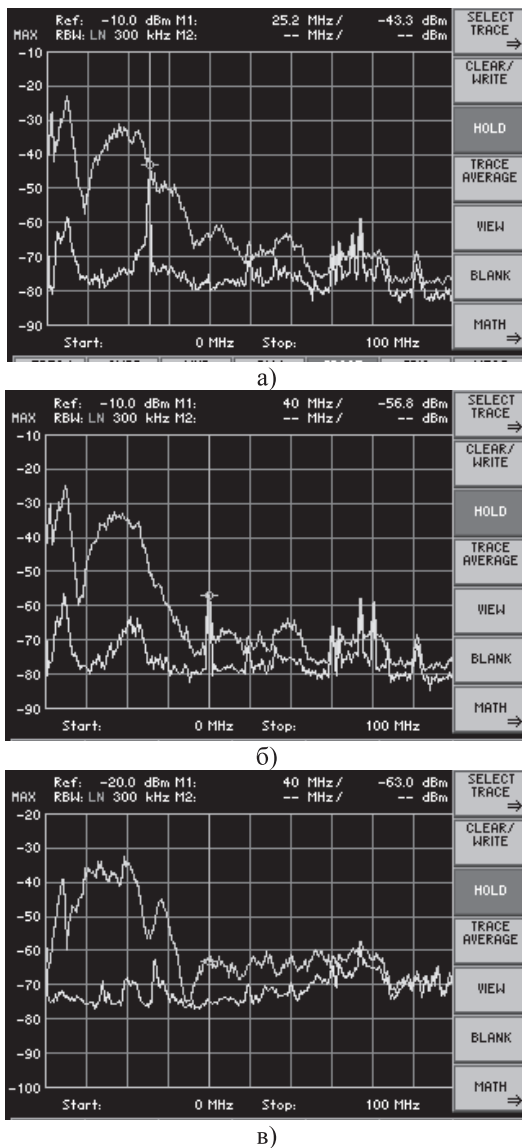


Рис. 9. Спектрограммы смеси КИ-сигнала и сигнала СОМ (верхние графики) для РСА в виде линии электропитания 220 В; 50 Гц, на стандартном расстоянии  $l = 1$  м от СОМ и частотах до 100 МГц; источники КИ-сигнала: а-б) генератор Г4-143, частота 25 и 40 МГц; в) монитор SAMSUNG SyncMaster 753DFX; и уровень фона по ЭМП в помещении лаборатории (нижние графики)

Оциллограммы для смеси сигналов, циркулирующих в РСА на расстоянии  $l = 12$  м от СОМ, представлены на рис. 10-11. Данные рис. 10 соответствуют частоте тестового КИ-сигнала 25 МГц, рис. 11 – частоте 40 МГц, маскировка которых шумовой АП (см. рис. 9) является существенно различной, – однако независимо от этого, «разрушение» тестового КИ-сигнала на обеих частотах за счет стохастической АМ (что эквивалентно использованию преднамеренной мультипликативной помехи – МП) происходит весьма эффективно.

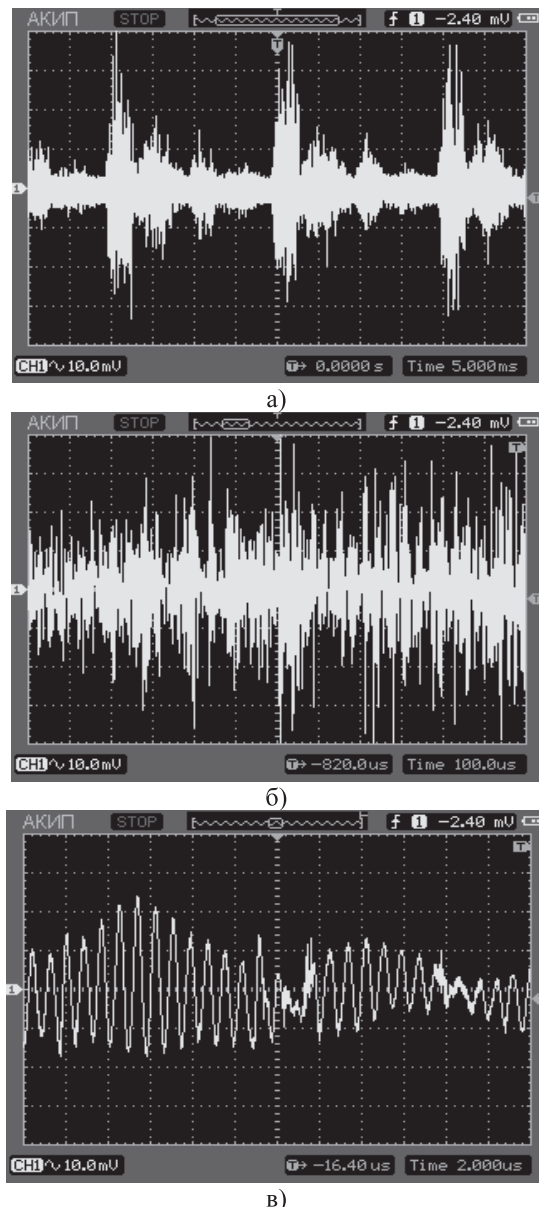


Рис. 10. Оциллограммы смеси сигналов от Г4-143 с частотой 25 МГц и СОМ для РСА в виде линии электропитания на расстоянии  $l = 12$  м от СОМ при периоде развертки: а) 5 мс; б) 100 мкс; в) 2 мкс

Это говорит о том, что применение СОМ для информационной защиты реальных РСА является весьма перспективным – поскольку все гармоники ЭС реальных КИ-сигналов будут «разрушаться» аналогичным образом под воздействием МП как при наличии, так и при отсутствии эффективных АП.

### Динамические свойства сигналов при обратном прохождении СОМ

Важное практическое значение имеют свойства СОМ в случае воздействия на него со стороны РСА сигналами внешнего высо-

кочастотного (ВЧ) навязывания – в отличие от случая «прямого» прохождения тестового сигнала через СОМ, которому соответствуют данные рис. 9-11, данный вариант назовем «обратным» прохождением. Таким образом, если при «прямом» прохождении генератор Г4-143 играет роль источника тестового КИ-сигнала, то при «обратном» прохождении он моделирует сигнал ВЧ-навязывания, уровень которого может регулироваться злоумышленником.

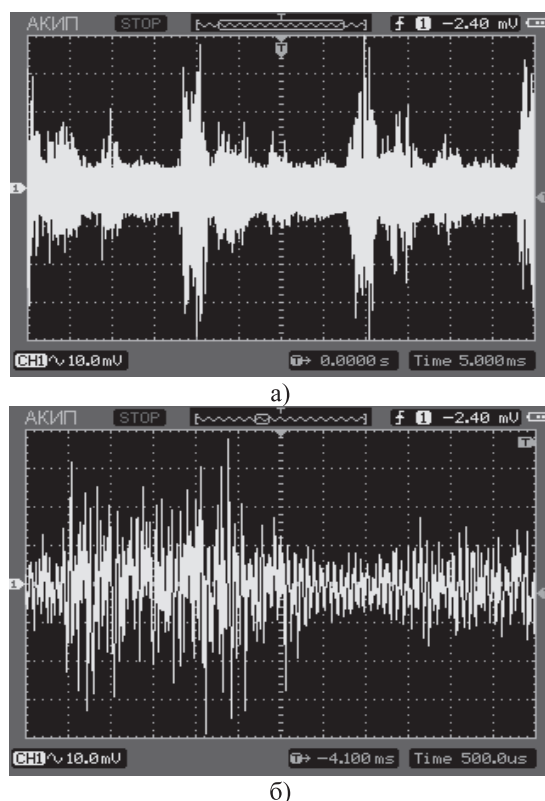


Рис. 11. Осциллограммы смеси сигналов от Г4-143 с частотой 40 МГц и СОМ для РСА в виде линии электропитания на расстоянии  $l = 12$  м от СОМ при периоде развертки: а) 5 мс; б) 500 мкс

Методика исследования эффекта однократного «обратного» прохождения тестового сигнала через СОМ предусматривала подачу сигнала от Г4-143 в схему на рис. 5 со стороны точек «Сеть ~220 В» и поочередное подключение анализатора FS300 и осциллографа АК ИП к точкам «Нагрузка XS3», а также регулировку уровня воздействия Г4-143 на РСА в пределах  $-40,2 \dots -28,1$  дБм. Полученные спектрограммы анализатора FS300 представлены на рис. 12а; осциллограммы АК ИП – на рис. 12б-ж.

Сопоставительный анализ графиков на рис. 12 позволяет проследить и промоделиро-

вать динамику свойств сигналов, присутствующих в СОМ при использовании метода ВЧ-навязывания для съема КИ со стороны РСА. В итоге можно сделать вывод о том, что они демонстрируют незначительное влияние фактора роста на 14,1 дБ уровня тестового сигнала на эффект его «разрушения» в СОМ за счет воздействия МП – хотя степень его маскировки за счет АП (см. графики рис. 12а), напротив, существенно зависит от данного фактора. Этот вывод соответствует результатам аналитического моделирования КИ-сигнала, АП и МП, используемых в РСА, и достаточно убедительно подтверждает их.

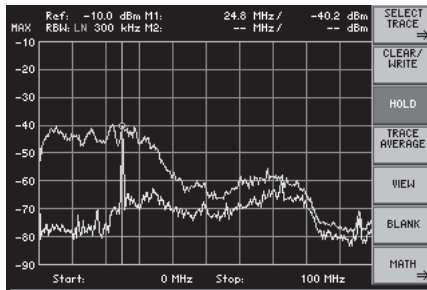
### Выводы

Результаты исследования разных вариантов применения СОМ для защиты СЛ систем электропитания ЭВМ и других ТС, размещенных в ПЗП, показывает, что использование МП, эквивалентных АМ стохастического типа, является эффективным и универсальным средством информационной защиты таких РСА. Моделирование вероятностных свойств и параметров КИ-сигналов, АП и МП, присутствующих в РСА, целесообразно проводить с учетом приведенных в настоящей статье экспериментальных данных.

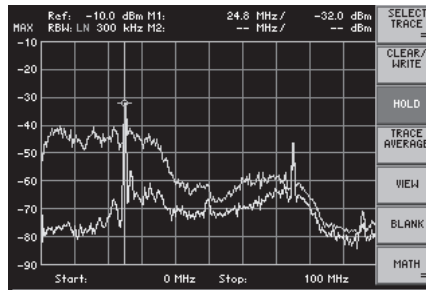
### Литература

1. Алышев Ю.В., Маслов О.Н., Рябушкин А.В. Методы и средства исследования эффективности случайных антенн // Антенны. №4 (131), 2008. – С. 59-65.
2. Алышев Ю.В., Маслов О.Н., Рябушкин А.В. Оценка эффективности распределенных случайных антенн // Антенны. №10 (149), 2009. – С. 62-69.
3. Способ определения затухания сигнала в распределенной случайной антенне // Маслов О.Н., Раков А.С., Рябушкин А.В. Патент RU 2 393 493 С1 от 06.04.2009, опубл. 27.06.2009, бюлл. №18.
4. Способ оценки эффективности случайной антенны // Алышев Ю.В., Маслов О.Н., Рябушкин А.В. Патент RU 2372623 от 03.03.2008, опубл. 10.11.2009, бюлл. №31.
5. Маслов О.Н., Щербакова Т.А. Анализ и моделирование мультипликативных процессов // Радиотехника. №6, 2012. – С. 101-105.

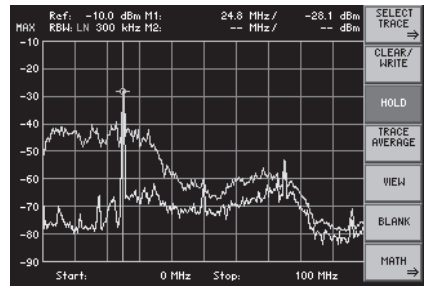




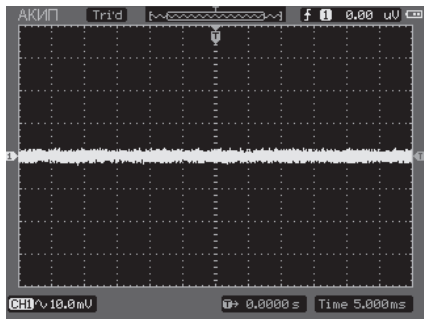
a<sub>1</sub>)



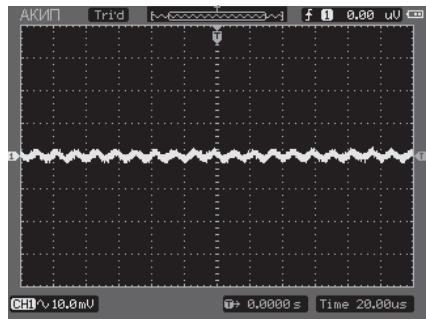
a<sub>2</sub>)



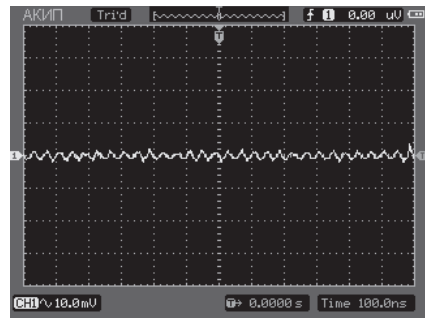
a<sub>3</sub>)



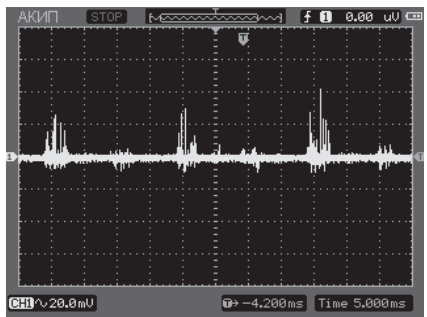
б<sub>1</sub>)



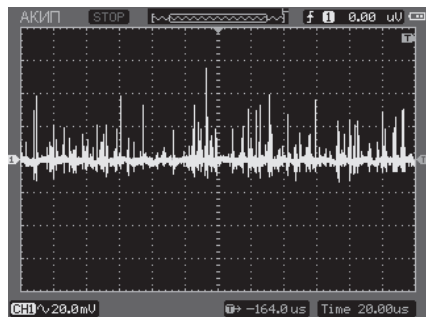
б<sub>2</sub>)



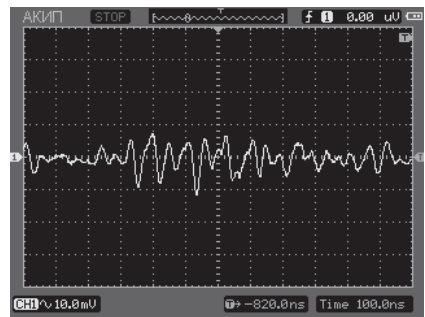
б<sub>3</sub>)



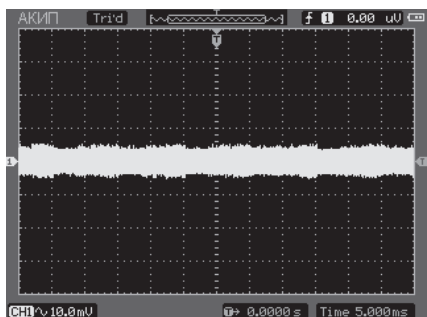
в<sub>1</sub>)



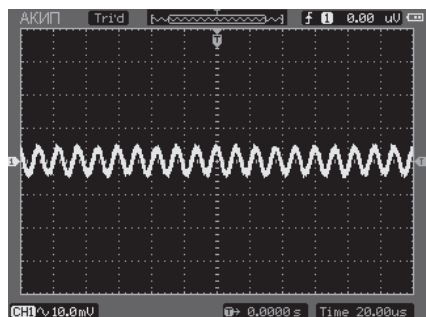
в<sub>2</sub>)



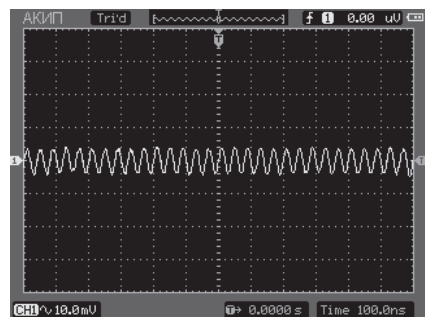
в<sub>3</sub>)



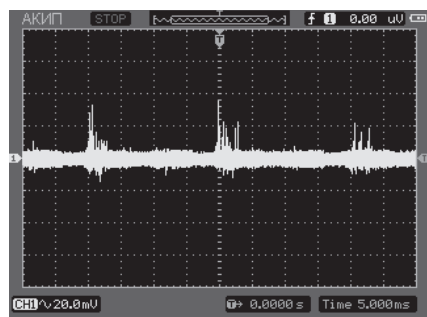
г<sub>1</sub>)



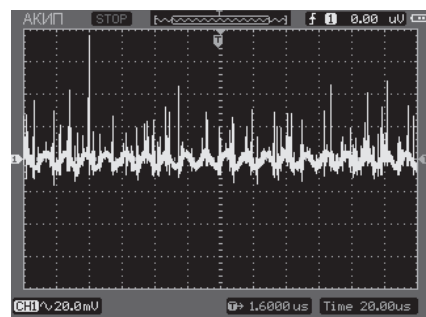
г<sub>2</sub>)



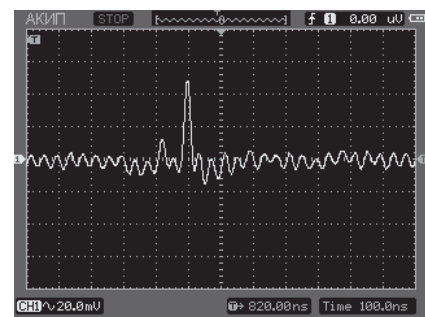
г<sub>3</sub>)



д<sub>1</sub>)



д<sub>2</sub>)



д<sub>3</sub>)

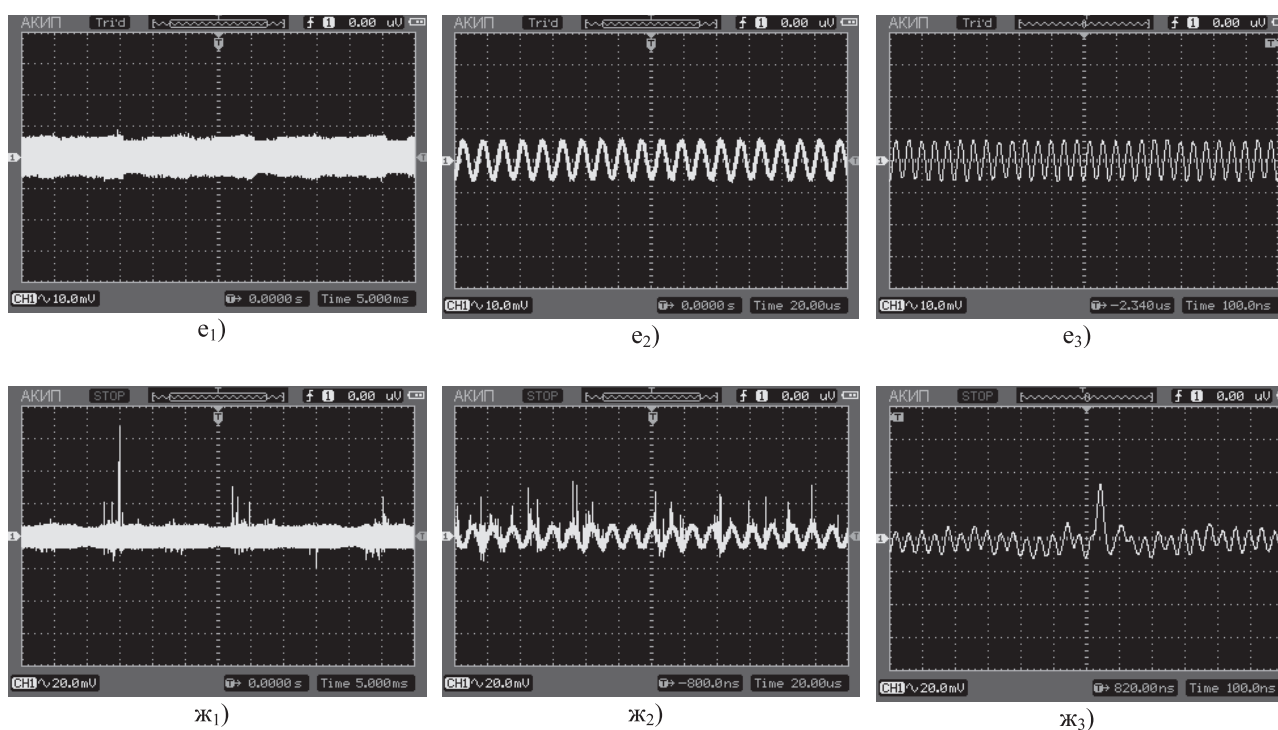


Рис. 12. Характеристики тестового сигнала с частотой 25 МГц при однократном «обратном» прохождении COM а) спектрограммы; б<sub>1,2,3</sub>...ж<sub>1,2,3</sub>) осциллограммы при периоде развертки 5 мс, 20 мкс и 100 нс; б; г; е) при отключенном ГШ (ключ Q3 разомкнут); в; д; ж) при включенном ГШ (ключ Q3 замкнут); а<sub>1</sub>; б<sub>1,2,3</sub>; в<sub>1,2,3</sub>) при уровне тестового сигнала  $-40,2$  дБм; а<sub>2</sub>; г<sub>1,2,3</sub>; д<sub>1,2,3</sub>)  $-32,0$  дБм; а<sub>2</sub>; е<sub>1,2,3</sub>; ж<sub>1,2,3</sub>)  $-28,1$  дБм

## ANALYSIS AND SIMULATION OF SIGNALS IN THE INFORMATION SECURITY SYSTEM OF DISTRIBUTED RANDOM ANTENNA

Zasedateleva P.S., Maslov O.N., Ryabushkin A.V., Shashenkov V.F.

The problem of simulation of signals and active jamming, used in the system of information protection of distributed random antenna (DRA) is considered in this paper.

**Keywords:** active information protection, distributed random antennas, used signals and noise.

Заседателева Полина Сергеевна, аспирант Кафедры экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-927-717-11-71.

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

Рябушкин Аркадий Викторович, инженер Кафедры мультисервисных сетей и информационной безопасности ПГУТИ. Тел. 8-937-981-70-16.

Шашенков Валерий Федорович, к.т.н., с.н.с., соискатель Кафедры ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-903-144-50-75. E-mail: maslov@psati.ru

УДК 004.5

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ МИКРОВЫРАЖЕНИЙ «FACE MODE» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ИНСАЙДЕРА

Кудрявцев Д.А., Кузнецов М.В., Светличная М.А.

Рассматривается методика распознавания физиогномических особенностей человека и ее программная реализация с применением искусственной нейронной сети, позволяющая

повысить достоверность результатов полиграфа.

**Ключевые слова:** полиграф, физиогномика, эмоции, инсайдер, автоматизированные системы, нейронные сети.