

УДК 623.623

Конструкторские решения и интерфейсы оборудования радиотехнической разведки, радиоэлектронного подавления и блокирования радиолиний связи и управления, производимого АО «Руспром»

Водяных А. А., Бритков А. В., Горбанов Н. А., Дементенко С. А.,
Дудник К. В., Игрунов А. Ю., Кондратенко Г. Г., Лактионов А. И.,
Матюхин Н. Н., Пацановский Д. С., Перькова Н. И., Прокопенко А. Э.,
Ракитянский Ф. А., Стрыбиж И. С., Тертышный О. И.

АО «Руспром»
ул. Беговая, д. 13, Москва, 125284, Российская Федерация
rusprom@rusprom.su

Получено: 22 мая 2020 г.

Отрецензировано: 26 мая 2020 г.

Принято к публикации: 29 мая 2020 г.

Аннотация: В статье представлены конструкторские решения и рабочие интерфейсы оборудования радиотехнической разведки (определение пеленга на источник сигнала, оценка параметров сигнала), радиоэлектронного подавления (формирование, излучение помехового сигнала) и блокирования радиолиний связи и управления (с дополнительным режимом секторного подавления сигналов управления и навигации беспилотных летательных аппаратов), работающего в диапазоне частот от 20 МГц до 6000 МГц.

Ключевые слова: пеленг на источник сигнала, излучение помехового сигнала, секторное подавление, БПЛА.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Водяных А. А., Бритков А. В., Горбанов Н. А. и др. Конструкторские решения и интерфейсы оборудования радиотехнической разведки, радиоэлектронного подавления и блокирования радиолиний связи и управления, производимого АО «Руспром» // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 1. С. 41–62.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Водяных, А. А. Конструкторские решения и интерфейсы оборудования радиотехнической разведки, радиоэлектронного подавления и блокирования радиолиний связи и управления, производимого АО «Руспром» / А. А. Водяных, А. В. Бритков, Н. А. Горбанов и др. // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 1. — С. 41–62.

Design solutions and interfaces of radio intelligence equipment, radio-electronic suppression and blocking of radio communication links and control produced by Rusprom Co.

A. A. Vodyanykh, A. V. Britkov, N. A. Gorbanov, S. A. Dementenko, K. V. Dudnik, A. Yu. Igrunov, G. G. Condratenko, A. I. Laktionov, N. N. Matyukhin, D. S. Patsanovsky, N. I. Perkova, A. E. Prokopenko, F. A. Rakityansky, I. S. Strybizh, and O. I. Tertychny

Rusprom Co.
13 Begovaya Str., Moscow, 125284, Russian Federation
rusprom@rusprom.su

Received: May 22, 2020
Peer-reviewed: May 26, 2020
Accepted: May 29, 2020

Abstract: *The article presents design solutions and operational interfaces of radio intelligence equipment (determination of bearing per signal source, estimation of signal parameters), electronic suppression (generation, emission of interference signal) and blocking of radio communication and control links (with additional mode of sector suppression of control and navigation signals of unmanned aerial vehicles) operating in the frequency range from 20 MHz to 6000 MHz.*

Keywords: *bearing on a signal source, radiation of an interfering signal, sector suppression, the UAV.*

For citation (IEEE): A. A. Vodyanykh et al. "Design solutions and interfaces of radio intelligence equipment, radio-electronic suppression and blocking of radio communication links and control produced by Rusprom Co.," *Infocommunications and Radio Technologies*, 2020, vol. 3, no. 1, pp. 41–62.

1. Введение

Идеология построения приемной системы радиотехнической разведки, позволяющей определять пеленг на источник сигнала и производить оценку параметров сигнала (длительность импульсов, несущие частоты, время прихода импульсов относительно времени GPS) приведена в [1]. Система радиоэлектронного подавления, предназначенная для формирования, излучения помехового сигнала по заданным извне данным: частоте, направлению излучения, времени удержания помехового сигнала на

заданной частоте рассматривается в [2]. Наконец, в работе [3] предложен принцип реализации блокиратора каналов связи радиоуправляемых устройств диапазона частот от 20 МГц до 6000 МГц, в котором кроме режима заградительной помехи реализован дополнительный режим для секторного подавления сигналов управления и навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В настоящей статье приведены результаты реализации перечисленных выше систем — конструкторские решения и рабочие интерфейсы.

2. Станция радиотехнической разведки

Частотный диапазон станции: 70—500 МГц и 0,9—3 ГГц. Она позволяет производить анализ сигналов (CW — непрерывных, Pulse — импульсных) источников излучения и определять пеленг на эти источники. Точность определения пеленга $\pm 5^\circ$. Частотный диапазон станции может быть расширен путем смены антенной системы, т. к. приемное оборудование работает до 18 ГГц. На рис. 1 видны те конструкторские решения, которые применены в станции радиотехнической разведки (РТР). Антенная система расположена в защитном колпаке, легко монтируемом на мачте. Все приемное и обрабатывающее оборудование крепится на этой же мачте под антенной системой и защищено от внешних воздействий с помощью брезентового чехла. По кабелю снижения на станцию РТР поступает только питание и Ethernet трафик. Внешний вид станции РТР приведен на рис. 1. Станция может последовательно производить анализ до восьми источников излучения в каждом из четырех частотных поддиапазонов, назначенных (выбранных) оператором в диапазонах 70—500 МГц и 0,9—3 ГГц (всего 32 источника).

Интерфейс работы со станцией приведен на рис. 2.

Он содержит окно Spectrum Analyzer (окно для анализа спектра выбранного поддиапазона); таблицу требований РТР (окно Requirements Table), которое заполняется оператором по результатам анализа спектра (частота, полоса анализируемого сигнала и т. д.); и четыре окна: Видеодетектор (Video Detector), гистограмма импульсов (Histogram Pulse), гистограмма пауз (Histogram Pause), частотно-временная матрица (Time-frequency Matrix), отражающие характеристики текущего выбранного сигнала (в таблице требований текущий выбранный сигнал маркирован желтым цветом). Окно Peleng, Platform Leveling, Position отражает горизонтирование платформы и пеленг на источники сигналов. Имеется также окно Attack Setting REF, позволяющее передавать данные от станции РТР внешнему источнику назначения (по каналу связи РРЛ миллиметрового диапазона).

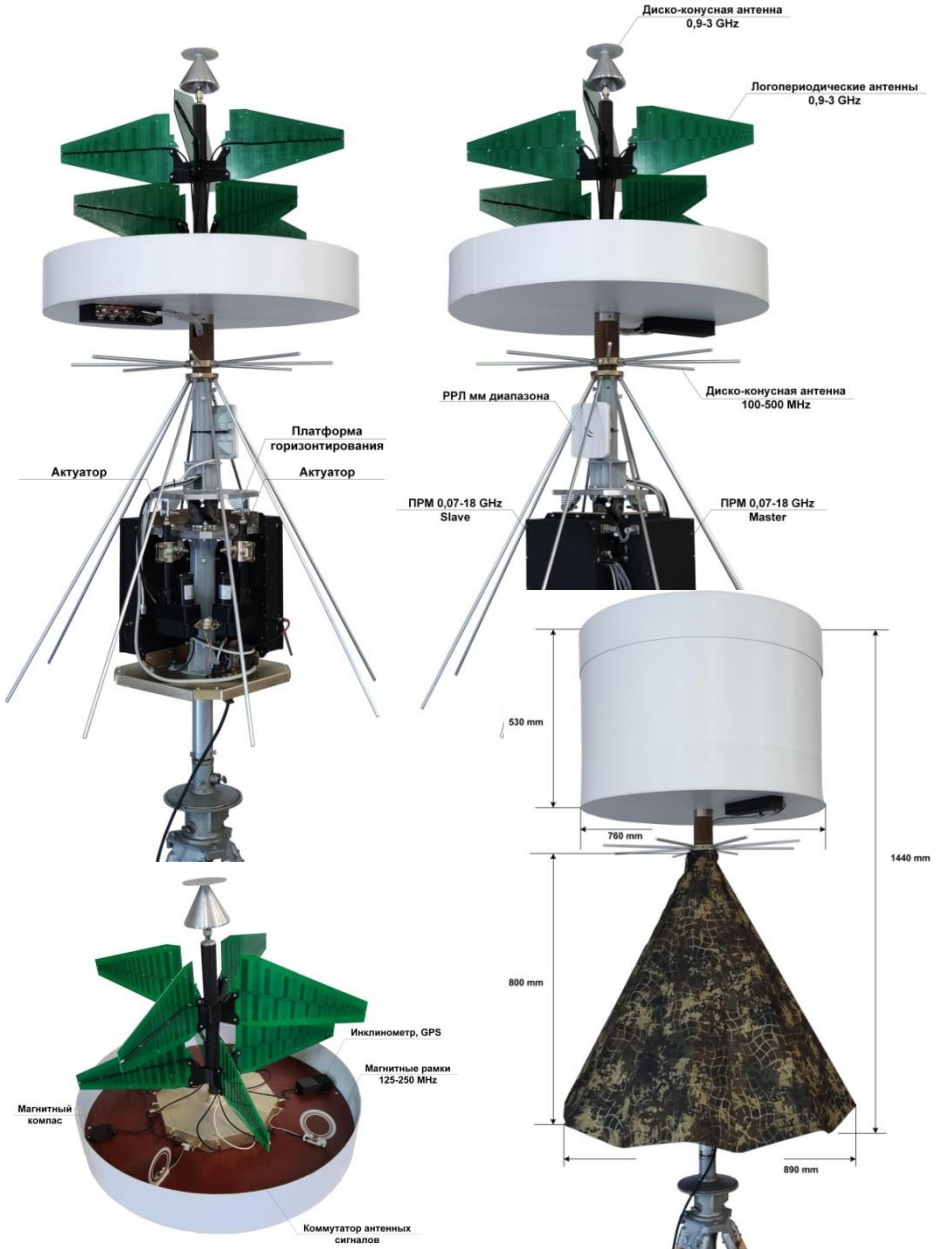


Рис. 1. Внешний вид станции РТР.

Fig. 1. Appearance of a radio intelligence station



Рис. 2. Интерфейс станции РТР.
 Fig. 2. Interface of a radio intelligence station

Ниже приведено описание интерфейса работы со станцией РТР.

1. Выбирается частотный поддиапазон $i = 1 \dots 4$ (Freqsubrange) приемника (ПРМ).

2. Устанавливаются режимы анализатора спектра для выбранного частотного поддиапазона: центральная частота поддиапазона F_{center} (0.07—18 GHz), мгновенная полоса анализа BW 36 или 3.2 MHz. Разрешение по частоте RBW выбирается автоматически в зависимости BW, соответственно, 40 кГц или 4.44 кГц. Максимальный требуемый уровень отображения на экране REF «связан» с ослаблением входного аттенюатора Atten. Задаются так же другие типовые параметры, используемые в анализаторе спектра (Trace View, Average...) в окне Spectrum Analyzer Settings RTI. Количество пикселей в окне анализатора спектра (AC) — 1000.

3. В окне AC маркируются те спектральные составляющие $i = 1 \dots 8$, которые заинтересовали оператора. Для этого в окне таблицы требований (Requirements Table — RTI) выбирают, активируют один из восьми маркеров кликом мышки (требуемый маркер при этом должен светиться желтым цветом. А поле Enable, рядом с выбранным маркером, должно быть активировано зеленым цветом).

В окне AC в этом случае появляется выбранный маркер, которым может быть помечена любая спектральная составляющая («перетаскиванием» маркера мышкой на требуемую спектральную составляющую). При этом частота этой спектральной составляющей автоматически прописыва-

ется в поле таблицы Frequency, MHz (маркер сопровождается информационным окошком: частота, уровень сигнала). Информация в окне AC обновляется каждые 200 мс.

4. Заполняются остальные поля таблицы требований: Filter BW, Filter Type, CW/Pulse, Threshold Video, Peleng/Omni. После этого выбранный для анализа сигнал будет пропущен через один из полосовых фильтров. В диапазоне частот 0,9—18 ГГц это 36 МГц, 10 МГц, 3.2 МГц, 1 МГц, 0.2 МГц, а в диапазоне частот 0,07—0,9 ГГц имеется возможность установить дополнительные фильтры: 200 кГц, 150 кГц, 100 кГц, 50 кГц, 12.5 кГц, 6.25 кГц. В диапазоне частот 0,9—18 ГГц имеется возможность установить тип фильтра: с гауссовской импульсной характеристикой для радарных сигналов или чебышевской — для связных сигналов (Filter Type). Гауссовская характеристика (по сравнению с характеристикой Чебышева) имеет пологий скат АЧХ. В полосе прозрачности фильтр Чебышева (по уровню -1 dB) имеет затухание -11 dB и -6 dB в половинной полосе прозрачности. Для улучшения фильтрующих свойств фильтра Гаусса, сигнал с его выхода также дополнительно пропускается через однотипный фильтр Чебышева. (Фильтр Гаусса не имеет звона по переднему и заднему фронту радиоимпульса и ему отдается предпочтение при фильтрации радарных сигналов). К выходу заданного фильтра подключен амплитудно-фазовый детектор (АФД). С помощью движка MAF фильтр (слева от окна Video Detector) оператор может отфильтровать ВС (видеосигнал с выхода АФД). Порог (Threshold Video) должен быть установлен из условия отсутствия дребезга в стробирующем импульсе, формируемым по пересечению сигнала ВС порога Treshold. Значения порога в таблице требований устанавливается автоматически после того, как оператор в окне Video Detector с помощью мыши установит линию порога в заданное положение. Поле CW/Pulse заполняется оператором по данным, полученным из AC и Видеограммы сигнала. Для сигнала CW (непрерывный сигнал) это будет означать, что стробирующий импульс будет формироваться от внутреннего генератора, а не от ВС (стробирующий импульс для сигнала CW необходим для взятия пленга на источник). ТТХ (тактико-технические характеристики) прописываемого в таблице требований сигнала будут выводиться в окнах интерфейса Video Detector, Histogram Pulse, Histogram Pause, Time-frequency Matrix, Peleng, Platform Leveling, Position.

5. Видеограмма сигнала с выхода АФД отражается в окне Video Detector. Отражение видеограммы имеет разрешение 512 пикселей. В зависимости от режима Sweep выводится SweepX1 — 512 отчетов, SweepX8 — 4096 отчетов с проживанием и отражением каждого 8-го отсчета,

SweepX256 — 131072 отчетов с прореживанием и отражением каждого 256-го отсчета. В этом же окне отражается порог для оцифровки видеосигнала Threshold, а также стробирующий импульс, сформированный из видеосигнала (BC). Амплитуда видеосигнала и порог отражаются в дБ относительно полной шкалы АЦП (Full Scale ADC). Стробирующий импульс отражен в относительных единицах.


Фазовая (при активации кнопки Phase) характеристика импульса, как более устойчивая к искажениям, также может быть отражена в окне Video Detector и помогает оператору в установлении порога Threshold. Также фазовая характеристика помогает оператору произвести оценку внутриимпульсной модуляции выбранного сигнала.


В этом же окне (окне Video Detector) с помощью кнопки Weight можно проконтролировать правильность наложения весовой функции, используемой в БПФ при вычислении частоты несущей радиоимпульса. Взвешенные отсчеты на входе АЦП отражаются на экране оператора в линейном масштабе. У оператора имеется возможность изменить (увеличить) масштаб отображения по амплитуде (в 4 раза) и изменить масштаб по длительности (кнопка Sweep). Частота несущей радиоимпульса используется при построении матрицы частотно-временного распределения (ЧВР) — Time-frequency Matrix. В матрице ЧВР квадратом красным цветом обозначаются импульсы, синим цветом — паузы. По номеру квадрата (в матрице ЧВР) можно определить длительность импульса или паузы, обратившись к графикам гистограмм импульсов и пауз. Возможно появление в матрице ЧВР белых квадратов в случае, если, например, измеренная длительность отсутствует в гистограмме (в гистограмме отражаются только пять наиболее часто встречающихся градаций длительностей и этим длительностям в гистограмме присвоены номера. Эти номера используются при формировании матрицы ЧВР). Тогда неизвестная длительность импульса, отмеченная в матрице ЧВР белым квадратом, может быть уточнена с помощью клика маркера по указанному квадрату. Если частота импульса не определена (а длительность импульса определена), то красный квадрат отражается на нулевой частоте. Уточнить частоту можно также с помощью клика маркера по указанному квадрату (после клика маркера приемник «вылавливает» длительность импульса, частоту которого не удалось определить и вычисляет его частоту. Частота в матрице ЧВР определяется с помощью БПФ на 1024 или 128 отсчетов (по желанию оператора). Чем больше отсчетов используется в БПФ, тем большее время тратится на их обработку. Так время, затраченное на обработку 1024 отсчетов, составляет 20 мкс. В случае если следующий радиоимпульс приходит через время менее чем 20 мкс от предыдущего, то его частота в матрице ЧВР не будет определена. Длительность этого импульса будет отражена в матрице ЧВР


красным квадратом на нулевой частоте. БПФ с числом отсчетов 128, кроме того, используется при построении матрицы ЧВР узкополосных импульсных сигналов (при использовании фильтров 200 кГц и менее. т. к БПФ на 1024 отсчета будет давать избыточное разрешение).

6. Видеограмма сигнала может обновляться:

— автоматически при нажатой кнопке Autosync. Обновление производится каждые 200 мс по первому приходящему импульсу (для сигнала CW выборка берется сразу по истечении времени 200 мс);

— вручную оператором при использовании кнопки . Обновление производится по первому приходящему импульсу после нажатия указанной кнопки (для CW выборка берется сразу после нажатия кнопки);

— вручную оператором при использовании кнопки . Обновление происходит по первому приходящему импульсу с заданной длительностью после нажатия указанной кнопки (данный режим только для импульсных сигналов).


7. По прописанному сигналу (в таблице требований) будут построены гистограммы импульсов, пауз, частотно-временная матрица, а также определен пеленг на сигнал, если в графе Peleng/Omni таблицы требований стоит Peleng (см. окна Histogram Pulse, Histogram Pause, Time-frequency Matrix, Peleng, Platform Leveling, Position). Новый набор данных для гистограмм и ЧВР матрицы (частотно-временной матрицы) осуществляется через активацию кнопок , расположенных рядом с указанными гистограммами. Данные для гистограмм набираются в течение времени T, заданном оператором (0,1—10000 ms), либо автоматически, если количество анализируемых импульсов превысило значение N=2000 (в зависимости от того, какое событие завершится раньше).

В верхнем правом углу гистограмм имеется обозначение, по какому количеству импульсов и пауз построены гистограммы Nsum, а также индицируется интервал времени Tsum (время набора данных для гистограмм). Отражается также информация о том, все ли градации длительностей и пауз воспроизведены (displayed) в окнах гистограмм (в % от Nsum, т. к. в гистограммах индицируются только пять градаций длительностей и пять градаций пауз).

8. Значение пеленга на сигнал отображается в таблице требований в поле Azimuth, и в окне Peleng, Platform Leveling, Position. Погрешность определения пеленга составляет 5°. При определении пеленга измеряется уровень импульсного сигнала или непрерывного сигнала по каждой из восьми антенн (для диапазона 0.9—3 ГГц). Уровень сигнала в каждой антенне определяется по одному приходящему радиоимпульсу путем усреднения его отсчетов. Количество отсчетов и начало взятия отсчетов относи-

тельно переднего фронта импульса задается оператором в окне Video Detector путем «перетаскивания» маркеров мышкой (маркер расположен на стробирующем импульсе и изменяет свое местоположение вдоль оси длительности стробирующего импульса). Длительность входного радиоимпульса (по которому будут братья отсчеты для пеленга) также может быть задана оператором в окне Video Detector или, имеется и такая возможность, отсчеты будут взяты по первому подходящему импульсу (задается оператором в таблице требований Peleng — Plg1/ PlgAll). Одновременно с измерением уровня сигнала по любой из восьми антенн, которые по очереди подключаются к измерительному приемнику (slave), производится измерение уровня этого же сигнала с выхода omni антенны измерительным приемником master (одновременность выборки с omni антенны и любой из направленных антенн достигается путем формирования стробирующего импульса в приемнике master и передачи его в приемник slave). Это исключает возможную ошибку в измерениях, вызванную флуктуацией уровня измеряемого сигнала во времени (т. к. процедура последовательного измерения уровня сигнала по каждой из восьми антенн занимает некоторый интервал времени, который в общем может быть большим, т. к. зависит еще и от скважности измеряемого сигнала). В колонке Peleng Wait Time также можно считать время ожидания, потраченное оборудованием РТР для определения пеленга на источник. Просмотр пеленга сразу по нескольким сигналам, прописанным в таблице, возможно при нажатой кнопке Peleng*8 в таблице требований и при прописанном оператором времени Peleng*8 Wait Time. Это время оператор может оценить по считанным данным таблицы требований в колонке Peleng Wait Time. При нажатой кнопке Peleng*8 окна Video Detector, Histogram Pulse, Histogram Pause, Time-frequency Matrix будут не доступны для отображения информации.


9. Таким образом можно прописать в таблицу требований до восьми анализируемых сигналов (в каждом из четырех частотных диапазонов, которые определены в частотном диапазоне 0.07—18 GHz). При этом вся информация о текущем прописанном сигнале (когда инициализированы зеленый и желтый маркеры в таблице требований) будет отражена в окнах Video Detector, Histogram Pulse, Histogram Pause, Time-frequency Matrix, Peleng, Platform Leveling, Position. Далее, если предусматривается совместная работа оборудования РТР (приемника с антенной системой) с оборудованием РЭБ, оператор должен заполнить поля для РЭБ (Attack Settings — REF): Attack Time — требуемое время работы оборудования РЭБ по каждому из сигналов таблицы требований; REF Time — время работы оборудования РЭБ с момента получения им отчета (от приемника) до отправки обратной квитанции по отработанному отчету; Peleng Time — интервал времени между процедурами взятия пеленга в приемнике (взятие

пеленга существенно снижает время реакции ПРМ на формирование отчета, т. к. требуется проанализировать уровни сигналов со всех восьми антенн кольцевой антенной системы). Оборудование РЭБ получает таблицу требований от оборудования РТР в отчете, передаваемом по РРЛ миллиметрового диапазона (при активировании кнопки ).



10. С помощью окна Peleng, Platform Leveling, Position, оператор может произвести горизонтирование платформы приемника (при этом центр внутренней окружности должен совпадать с центром наружной окружности).

11. Кнопка Save Setting позволяет сохранить прописанные настройки АС, данные таблицы требований, настройки для РЭБ в энергонезависимую память.

12. Рассмотренный выше алгоритм работы ПРМ — это работа в ручном режиме (оператор сам заполняет таблицу требований из восьми частот). Кнопка Manual/Auto в таблице требований при этом находится в состоянии Manual. Возможен еще режим Auto (кнопка Manual/Auto в состоянии Auto).

13. В случае, когда выбран режим auto, оператор заносит в таблицу требований в поле Frequency, MHz, одну центральную частоту. Для этой частоты задается полоса анализа (в поле Filter BW). ПРМ по этим данным обнаруживает в указанной полосе до восьми частот и сам формирует таблицу требований. При активированной кнопке  оборудованию РЭБ будет переслан отчет об обнаруженных (автоматически) восьми сигналах в заданной полосе анализа, а при получении квитанции от РЭБ, ПРМ (РТР) снова запускает процедуру обнаружения. Т. е. процедура общения оборудования ПРМ (РТР) и РЭБ происходит без участия оператора и может быть им прервана переводом ПРМ в режим Manual. Процедура автоматического обнаружения в ПРМ использует результаты АС. При этом используются установки АС, заданные оператором в окне Spectrum Analyzer Settings — RTI. Эти установки определяют длительность реакции ПРМ от момента получения квитанции от оборудования РЭБ до момента передачи нового отчета по обнаружению. Например, использует ли АС режим усреднения и какой? Average, Holdmax? Какой запуск АС? От внутреннего генератора AS/MIS или от стробирующего импульса, сформированного по импульсу с выхода детектора подключенного к заданной полосе анализа? Также это время зависит от того, требуется ли определение пеленга на источник, от параметров исследуемого сигнала, например, скважности и т. д. Минимальное время реакции ПРМ от получения квитанции до выдачи нового отчета — 200 мкс. Время реакции РЭБ от получения отчета до фор-

мирования по этому отчету помехового сигнала — 70 мкс (для случая, когда изменяется только одна частота в известном и заранее установленном частотном поддиапазоне при заданном направлении излучения).

14. Имеется еще одна возможность у оператора при заполнении таблицы требований. Прописывая таблицу по «конкретному сигналу», оператор может произвести длительную запись образов I и Q этого сигнала нажатием кнопки  и передать их на компьютер нажатием кнопки  (запись сигналов типа Pulse начинается по первому приходящему импульсу). Длительность этой записи значительно превышает длительность записи отсчетов отражаемых в окне Video Detector (например, для фильтра 36 МГц длительность записи составит 200 мс).

Анализ сигналов CW осуществляется (в диалоге оператор — компьютер) после записи образов I, Q и вывод на экран спектрограммы I2+Q2. Цель (разрабатываемого) программного обеспечения, анализирующего сигнал CW — оценка символьной скорости, полосы прозрачности и roll-off фильтра I,Q с последующим построением констелляционной диаграммы для видов модуляции: BPSK, QPSK, QAM N.

15. В станции имеется возможность обновления программного обеспечения через интерфейс управления.

3. Станция радиоэлектронного подавления

Станция радиоэлектронного подавления (РЭП) работает в диапазоне частот 70—500 МГц и 1—3 ГГц с выходной мощностью используемых усилителей 90 Вт и 2×(40—60) Вт соответственно. С учетом антенной системы энергопотенциал станции в диапазоне частот 1—3 ГГц повышается до 300—600 Вт. Станция РЭП позволяет формировать помеховый сигнал по заданным извне данным: частоте, направлению излучения, времени удержания помехового сигнала на заданной частоте, времени работы станции РЭП. Имеется также возможность формирования помехового сигнала заданной формы. На рис. 3 видны те конструкторские решения, которые применены на станции РЭП. На рис. 4 приведена структурная схема станции РЭП. На рис. 3 показан интерфейс станции РЭП.

Антенная система расположена в защитном колпаке, легко монтируемом на мачте. Все передающее оборудование крепится на этой же мачте сразу под антенной системой и защищено от внешних воздействий с помощью брезентового чехла. По кабелю снижения на станцию РЭП поступает только питание и Ethernet трафик. Станция может управляться по Ethernet каналу, как через кабель снижения, так и через Ethernet канал, передаваемый через РРЛ миллиметрового диапазона. В диапазоне частот 1—3 ГГц два усилителя с выходной мощностью 40—60 Вт работают на две направленные логопериодические антенны (входы 1К и 5К, или 2К и 6К,

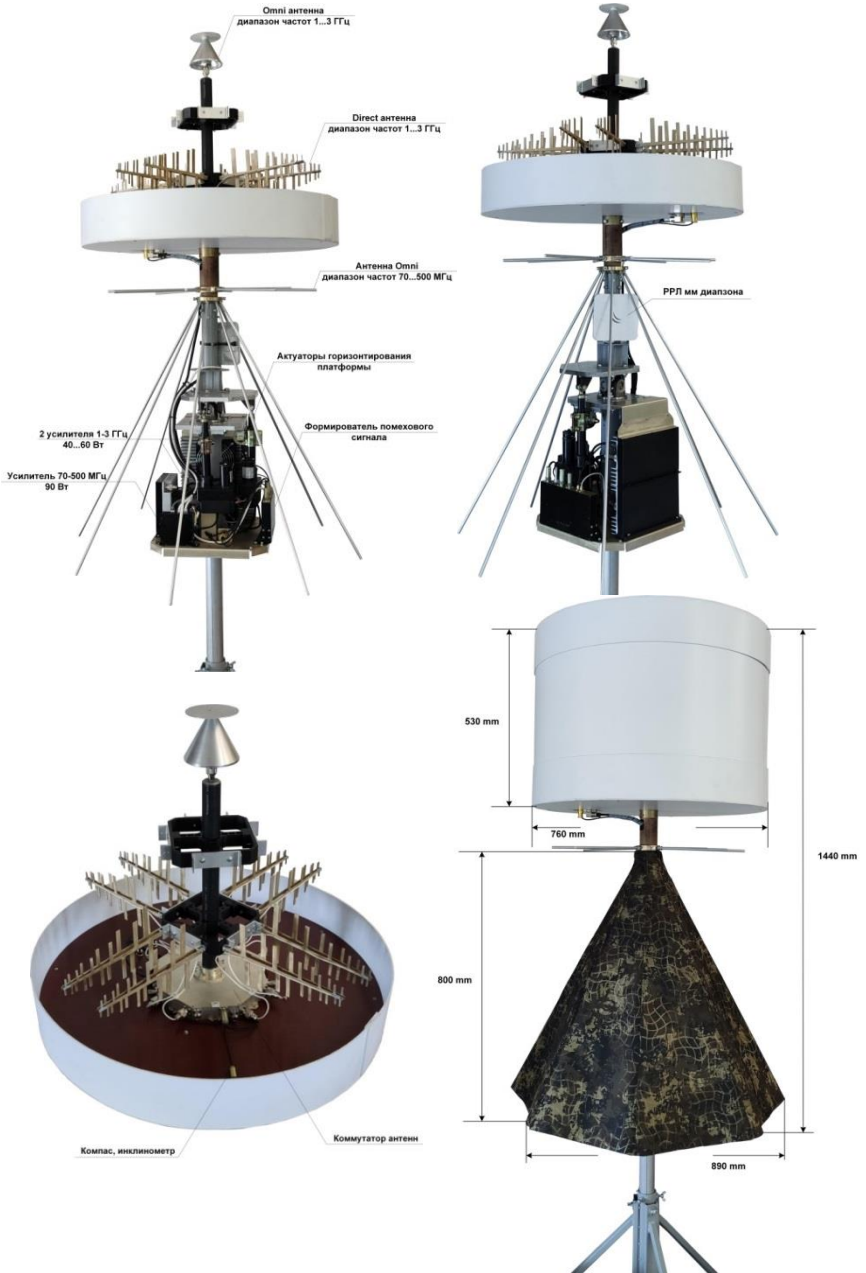


Рис. 3. Внешний вид станции РЭП.

Fig. 3. The appearance of the electronic jamming station

или 3К и 7К, или 4К и 8К). Каждая пара из указанных антенн образует антенную решетку первого этажа (состоящую из четырех пар антенн). Антенная решетка второго этажа строится аналогично и имеет сдвиг на 45° по направлению излучения относительно антенной решетки первого этажа (второй антенный этаж на рис. 3, 4 не показан). Первый и второй коммутаторы позволяют подать сигнал с выходных усилителей 1—3 ГГц на любую пару антенн первого или второго этажей (каждый коммутатор имеет по 9 выходов, один из которых подключен к одной антенне 1—3 ГГц, четыре выхода используются для подключения к антеннам первого этажа и еще четыре выхода для подключения второго этажа; на рис. 2 показано управление только одним этажом). Коммутаторы антенн выполнены на реле Axiscom HF3 S. Потери в коммутаторе составляют 1,5 дБ.

Формирователь поддерживает на выходах усилителя (1—3 ГГц) заданную разность фаз в зависимости от требуемого направления излучения. Это позволяет менять положение диаграммы направленности, формируемой каждой парой антенн, в пределах $\pm 35^\circ$ и обеспечивает высокое значения энергopotенциала станции в широком диапазоне частот (1—3 ГГц) при любых направлениях излучения. В диапазоне частот 70—500 МГц используется ненаправленное излучение.

Устройство позволяет по записанным данным (через Ethernet протокол) формировать сигнал заданной формы с полосой частот до 40 МГц в течение отрезка времени 200 мс (с возможностью циклического повторения). Для этого в устройстве используются микросхемы SDRAM SAMSUNG K4S281632I.

Время реакции станции от момента получения данных по частоте излучения составляет 70 мкс. При условии, что направление излучения, длительность излучения на заданной частоте и центральная частота предварительно установлены, а формирование помехового сигнала осуществляется в полосе частот ± 50 МГц относительно центральной частоты.

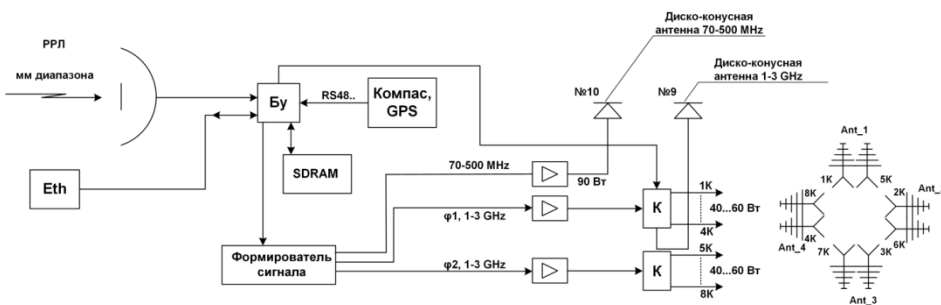


Рис. 4. Структурная схема станции РЭП.

Fig. 4. Block diagram of an electronic jamming station

ASSS V 1.8

IP address: 10 .0 .0 .10

Connect

SUBBAND 1 | SUBBAND 2 | SUBBAND 3 | SUBBAND 4 | IP MAC

START: 2600 END: 2700

FREQ	MHz	KHz	Direct
<input checked="" type="checkbox"/>	2650	0	5°/RAM
<input checked="" type="checkbox"/>	2652	350	75°
<input checked="" type="checkbox"/>	2654	0	110°/RAM
<input checked="" type="checkbox"/>	2657	500	75°
<input checked="" type="checkbox"/>	2660	0	235°/RAM
<input checked="" type="checkbox"/>	2670	0	120°
<input type="checkbox"/>	950	0	190°
<input type="checkbox"/>	625	0	350°

Time

Attack time: 99 mS 50 uS

REF time: 3 S 500 mS 500 uS

Connect SEND

Рис. 5. Интерфейс станции РЭП.

Fig. 5. Radio electronic jamming interface

4. Устройство блокирования радиолиний связи и управления

Блокиратор JAGUAR разработан в связи с широким распространением новых систем радиосвязи и передачи информационных данных — 3G, 4G, радиоканалы управления БПЛА, и т. д.

Блокиратор формирует заградительную помеху с линейно частотной модуляцией, перекрывающую весь частотный диапазон от 20 МГц до 6000 МГц, но в отличие от изделия, рассмотренного в докладе [3], конструкция нового блокиратора выполнена в стойке 19U, что значительно улучшает эксплуатационные характеристики блока, так как упрощает возможную модернизацию или ремонт изделия. Также в новом блокираторе JAGUAR

установлены дополнительные ВЧ коммутаторы, позволяющие оперативно подключать направленные антенны (вместо ненаправленных) для подавления необходимых сигналов в заданном секторе. Для установки направленных антенн разработана и изготовлена специальная поворотная платформа, управление положением которой осуществляется с помощью пульта ДУ блокиратора. Структурная схема системы для блокировки каналов связи радиоуправляемых устройств JAGUAR показана на рисунке 6.

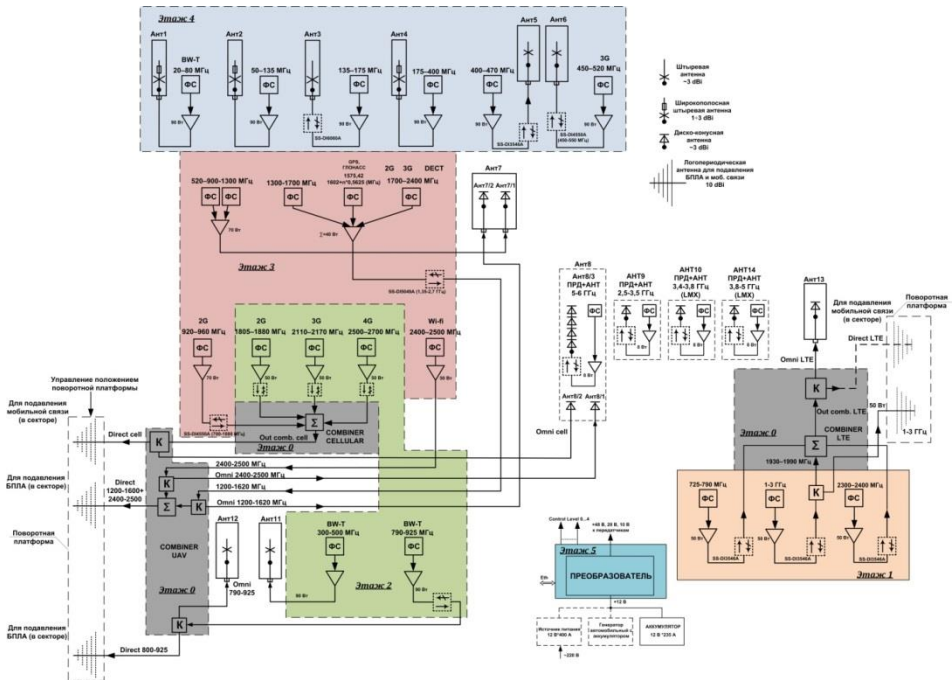


Рис. 6. Структурная схема изделия JAGUAR.

Fig. 6. JAGUAR block diagram

Конструктивно блокиратор состоит из шести блоков (этаж 0 ... этаж 5), установленных в стойку, каждый из которых, в случае необходимости, может быть легко из нее извлечен.

Стойка основного передатчика состоит из 18 литерных передатчиков, перекрывающих частотный диапазон от 20 до 2700 МГц (каждый передатчик включает в себя: генераторы специальных сигналов, усилитель мощности, преобразователь напряжения, модуль управления и контроля), три ВЧ комбайнера CELLULAR, LTE и UAV, объединяющие сиг-

налы мобильной связи и сигналы подавления БПЛА, ВЧ коммутаторы для оперативного переключения между направленными и штатными антеннами блокиратора (режим секторного подавления), а также содержит систему жидкостного охлаждения блока и преобразователи напряжения для питания изделия. Внешний вид передней и задней панелей стойки показан на рис. 7.

Антенное поле состоит из четырнадцати передающих антенн на магнитных основаниях. Четыре самых высокочастотных литерных передатчиков в диапазоне частот 2,5—6 ГГц смонтированы в корпусах антенн 8, 9, 10, 14. Пример размещения антенного поля блокиратора в автобоксе Thule показан на рисунке 4.

Инженерный пульт с сенсорным экраном, для дистанционного управления блокиратором по кабелю через интерфейс Ethernet позволяет оператору осуществлять мониторинг и управлять режимами работы системы.

Имеется также эксплуатационный пульт для дистанционного управления блокиратором по кабелю через интерфейс Ethernet в антивандальном исполнении. Внешний вид пультов показан на рисунке 3.

Реализованная конструкция и габариты изделия позволяют эффективно использовать блокиратор, как на стационарных объектах, так и в движении на легковом автотранспорте.



Рис. 7. Фото внешнего вида передней (а) и задней (б) панелей стойки основного блокиратора JAGUAR.

Fig. 7. Photo of the appearance of the front (a) and rear (b) rack panels JAGUAR main blocker



Рис. 8. Фото внешнего вида инженерного и эксплуатационного пультов дистанционного управления блокиратора JAGUAR.

Fig. 8. Photo of the appearance of the engineering and operational remotes of the JAGUAR lock



Рис. 9. Фото внешнего вида антенного поля блокиратора JAGUAR, размещенного в автобоксе Thule и общий внешний вид автомобиля с установленной антенной системой.

Fig. 9. Photo of the appearance of the antenna field of the JAGUAR blocker located in the Thule autobox and the general appearance of the car with the antenna system installed

Антенное поле (с ненаправленными антеннами) установлено в автобоксе Thule Motion XT XXL Black Glossy TH629901. Некоторые антенны имеют размер по высоте больше, чем высота автобокса. Для их размещения в основании автобокса сделаны отверстия, а под автобоксом прикреплен металлический лист. Указанные антенны крепятся к этому листу через магнитные основания. Внутри автобокса также имеется дополнительный металлический лист, к которому крепятся антенны меньшего размера.

В основном режиме эксплуатации блокиратор формирует широкополосную заградительную всенаправленную помеху во всем диапазоне частот от 20 до 6000 МГц (формирование помехового сигнала в литерных передатчиках с полосами частот до 200 МГц осуществляется с помощью прямого синтезатора частоты — DDS). Суммарная мощность излучаемой помехи 1300 Вт. Это обеспечивает надежное подавление наиболее распространенных радиоканалов связи в радиусе не менее 60 метров от антенного поля системы. Частотный план заградительной помехи и выходные мощности литерных усилителей указаны в таблице 1.

Табл. 1. Частотный план заградительной помехи.

Table 1. Frequency plan of the barrier

Литера	Частота, МГц	Выходная мощность, Вт
1	20—80 BW-T*	90
2	50—135	90
3	135—175	90
4	175—400	90
5	300—500 BW-T*	90
6	400—470	90
7	450—520	90
8	725—790	50
9	790—925 BW-T*	90
10	925—960	70
11	520—1300	70
12	1300—2400 GPS, ГЛОНАСС	50
13	1805—1880	50
14	1930—1990	50
15	2110—2170	50
16	2300—2400	50
17	2400—2500	50

Литера	Частота, МГц	Выходная мощность, Вт
18	2500—2700	50
19	2500—3500	7
20	3400—3800	7
21	3800—5000	7
22	5000—6000	7*4 (антенна 8/3-антенная решетка из 4-х антенн)

*BW-T (Band width tunable) — формирование сигнала помехи в указанном диапазоне частот или части диапазона, задаваемой оператором.

При необходимости подавления только определенных диапазонов частот (стандартов связи), оператор системы может включить/выключить нужные литерные передатчики с помощью инженерного пульта дистанционного управления блокиратором. Управление системой осуществляется по кабелю через интерфейс Ethernet. Это также дает возможность дистанционного управления блокиратором через любую Ethernet сеть с помощью компьютера.

В блокираторе JAGUAR реализован дополнительный режим для секторного подавления сигналов управления и навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). При его включении будут работать только литерные передатчики, подавляющие все известные основные частотные диапазоны, используемые для управления и навигации БПЛА (см. таблицу 2). Эти литерные передатчики будут отключены от антенн всенаправленного излучения (Кус $\sim 0...+3$ дБи) и подключены к направленным антеннам с коэффициентом усиления 10 дБи. Антенны направленного действия располагаются на поворотной платформе, которая позволяет осуществить излучение помехового сигнала по заданному азимуту и углу места. Алгоритм сканирования задается через инженерный пульт (платформа расположена в боксе автомобиля — towcar и на фото не показана). Имеется также возможность поднятия платформы на мачте на высоту 2.5 м).

Табл. 2. Частотный план заградительной помехи в режиме секторного подавления БПЛА.

Tab. 2. Frequency plan of the barrier in the mode of sector UAV suppression

Литера	Частота, МГц	Выходная мощность, Вт
1	20—80 BW-T*	90
5	300—500 BW-T*	90
9	790—925 BW-T*	90
12	1220—1620 GPS, ГЛОНАСС	50
17	2400—2500	50

Литера	Частота, МГц	Выходная мощность, Вт
21	4900—6000	7*4 (антенна 8/3-антенная решетка из 4-х антенн)

В режиме подавления сигналов управления БПЛА литерные передатчики с аббревиатурой BW-T (Band width tunable) позволяют оператору сформировать помеху, как во всей указанной полосе частот, так и в какой-либо ее части. Для снижения количества направленных антенн мощности соответствующих литерных передатчиков суммируются между собой ВЧ комбайнером UAV (см. рис. 6).

Аналогично организован режим секторного подавления мобильной связи (2G, 3G, LTE). В табл. 3 указаны те литерные передатчики, которые могут быть подключены к направленным антеннам, расположенным на той же поворотной платформе, что и антенны для подавления БПЛА.

Табл. 3. Частотный план заградительной помехи в режиме секторного подавления сигналов мобильной связи.

Tab. 3. Frequency plan of the barrier in the mode of sector suppression of mobile communication signals

Литера	Частота, МГц	Выходная мощность, Вт
8	725—790	50
9	790—925	90
10	925—960	70
13	1805—1880	50
14	1930—1990	50
15	2110—2170	50
16	2300—2400	50
18	2500—2700	50

5. Заключение

В статье представлены современные конструкторские решения и интерфейсы оборудования радиотехнической разведки, радиоэлектронного подавления и блокирования радиолиний связи и управления, производимого АО «Руспром». Максимальная мгновенная полоса анализа станции РТР увеличена до 108 МГц, серийно выпускаемый блокиратор каналов связи радиоуправляемых устройств обладает необходимыми техническими характеристиками и многофункциональностью режимов работы для эффективного подавления современных распространенных средств радиосвязи и борьбы с беспилотными летательными аппаратами.

Список литературы

1. Степанов В. Г., Коврыгин Д. В., Дудник К. В., Кондратенко Г. Г., Стрыбиж И. С., Игрунов А. Ю., Бондарь Г. Г., Лобко А. Я. Приемная система РТР // 29-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2019). Севастополь, 8—14 сентября 2019 г. : тезисы д-дов. — Москва; Минск; Севастополь, 2019. С. 63—67.
2. Степанов В. Г., Коврыгин Д. В., Лактионов А. И., Бритков А. В., Горбанов Н. А. Тертыйный О. И., Игрунов А. Ю. Антенная передающая система РЭП // 29-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2019). Севастополь, 8—14 сентября 2019 г. : тезисы д-дов. — Москва; Минск; Севастополь, 2019. С. 53—54.
3. Степанов В. Г., Коврыгин Д. В., Ракитянский Ф. А., Дементенко С. А., Дудник К. В., Прокопенко А. Э. / Система блокировки каналов связи радиоуправляемых устройств // 29-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2019). Севастополь, 8—14 сентября 2019 г. : тезисы д-дов. — Москва; Минск; Севастополь, 2019. С. 68—69.

Информация об авторах

Бритков Анатолий Васильевич, начальник отдела микропроцессорной техники, АО «Руспром», г. Москва.

Водяных Анатолий Анатольевич, заместитель генерального директора, АО «Руспром», г. Москва.

Горбанов Николай Алексеевич, главный конструктор филиала АО «Руспром», г. Москва.

Дементенко Сергей Анатольевич, заместитель начальника группы телевизионной техники, АО «Руспром», г. Москва.

Дудник Константин Викторович, начальник отдела СВЧ техники, АО «Руспром», г. Москва.

Игрунов Андрей Юрьевич, инженер отдела СВЧ техники, АО «Руспром», г. Москва.

Кондратенко Григорий Геннадиевич, ведущий инженер отдела микропроцессорной техники, АО «Руспром», г. Москва.

Лактионов Александр Иванович, начальник группы усилительной техники высокой мощности, АО «Руспром», г. Москва.

Матюхин Никита Николаевич, начальник инженерно-конструкторского отдела Трубчевского завода «Руспром», г. Трубчевск, Брянская обл.

Пацановский Дмитрий Сергеевич, ведущий инженер группы источников питания, АО «Руспром», г. Москва.

Перькова Наталья Ивановна, заместитель главного конструктора филиала АО «Руспром», г. Москва.

Прокопенко Александр Эдуардович, заместитель директора по производству филиала АО «Руспром», г. Москва.

Ракитянский Филипп Александрович, начальник группы телевизионной техники, АО «Руспром», г. Москва.

Стрыбиж Игорь Сергеевич, ведущий инженер отдела микропроцессорной техники, АО «Руспром», г. Москва.

Тертышный Олег Игоревич, ведущий инженер группы усилительной техники высокой мощности, АО «Руспром», г. Москва.

Information about the authors

Anatoly V. Britkov, head of the department of microprocessor technology, JSC Rusprom, Moscow.

Anatoly A. Vodyanykh, deputy general director, JSC Rusprom, Moscow.

Nikolay A. Gorbanov, chief designer of the branch of JSC Rusprom, Moscow.

Sergey A. Dementenko, deputy head of the group of television equipment, JSC Rusprom, Moscow.

Konstantin V. Dudnik, head of the department of microwave engineering, JSC Rusprom, Moscow.

Andrey Yu. Igrunov, engineer of the microwave technology department, JSC Rusprom, Moscow.

Grigory G. Kondratenko, leading engineer of the microprocessor technology department, JSC Rusprom, Moscow.

Alexander I. Laktionov, head of the group of high-power amplification equipment, JSC Rusprom, Moscow.

Nikita N. Matyukhin, head of the engineering and design department of the Trubchevsky plant, JSC Rusprom, Trubchevsk, Bryansk region.

Dmitry S. Patsanovsky, leading engineer of the group of power sources, JSC Rusprom, Moscow.

Natalia I. Perkova, deputy chief designer of the branch, JSC Rusprom, Moscow.

Alexander E. Prokopenko, deputy production director of the branch of JSC Rusprom, Moscow.

Philip A. Rakityansky, head of the television equipment group, JSC Rusprom, Moscow.

Igor S. Strybizh, leading engineer of the microprocessor technology department, JSC Rusprom, Moscow.

Oleg I. Tertyshny, leading engineer of the group of high-power amplification equipment, JSC Rusprom, Moscow.