

**АШИХМИН Александр Владимирович,**  
**доктор технических наук**  
**КАЮКОВ Игорь Васильевич,**  
**кандидат технических наук**  
**КОЗЬМИН Владимир Алексеевич,**  
**кандидат технических наук**  
**МАНЕЛИС Владимир Борисович,**  
**кандидат физико-математических наук**

# **АНАЛИЗАТОР БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ GSM-СЕТЕЙ НА БАЗЕ ПАНОРАМНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИЁМНИКА АРГАМАК-ИМ**

**С**отовые сети стандарта GSM (Global System for Mobile Communication) пользуются большой популярностью в России и многих других странах. В настоящее время в мире общее количество пользователей GSM-сетей превышает два миллиарда. Несмотря на активное развитие технологий сотовых систем следующих поколений, GSM-сети будут использоваться ещё продолжительное время благодаря своей надёжности, дешевизне, достаточной для большинства пользователей функциональности, развитой инфраструктуре.

Для планирования и эксплуатации сотовых сетей, проверки соответствия параметров базовых станций территориально-частотному плану, анализа зоны покрытия, исследования конфликтных ситуаций необходимо регулярно проводить анализ параметров базовых станций (БС) GSM-сетей. Оборудование для анализа параметров БС GSM-сетей можно разделить на несколько видов.

Первый вид – это универсальное оборудование от ведущих мировых производителей аппаратуры радиомониторинга. Оно используется для анализа параметров БС сетей различных стандартов, включая GSM, имеет функции быстрого цифрового спектрального анализа и определения параметров радиосигналов, предназначено как для

трактовых измерений с непосредственным подключением к передающей части БС, так и для измерений по эфиру. К подобному оборудованию относятся: тестер YBT250 компании Tektronix для исследования параметров передатчиков и помех в полевых условиях, анализатор беспроводных базовых станций E7495B фирмы Agilent, мобильный анализатор радиосетей TSMQ компании Rohde & Schwarz. Оборудование второго вида основано на использовании тестовых телефонов и сотовых радиомодемов с функциями контроля широкополосных каналов. Подобное оборудование предназначено для контроля GSM-сетей по эфиру, имеет более узкий по сравнению с первым видом перечень измеряемых параметров, использует некалиброванные по полю антенные системы, что делает невозможным его применение для точного измерения напряжённости электромагнитного поля. Стоимость второго вида оборудования значительно меньше, чем первого.

К третьему виду оборудования можно отнести анализаторы БС GSM-сетей на основе универсальных измерительных цифровых радиоприёмных устройств (ЦРПУ). Такие приёмники обычно имеют метрологические параметры, достаточные для проведения измерений в GSM-сетях, в том числе высокую стабильность частоты опорного генера-

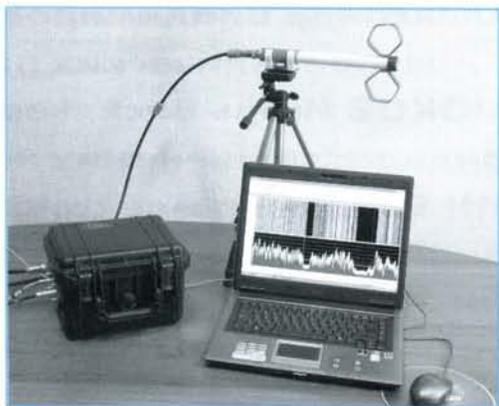


Фото 1. Цифровой панорамный измерительный приёмник с управляющей ПЭВМ

тора, широкую полосу пропускания, малые погрешности амплитудно-частотной характеристики, цифровой выход сигнала промежуточной частоты. Функциональность такого анализатора зависит от параметров измерительного ЦРПУ и алгоритмических возможностей программного обеспечения. Стоимость анализаторов БС GSM-сетей на базе цифровых измерительных приёмников соизмерима со стоимостью универсальных анализаторов, но их достоинством является возможность использования программного обеспечения для решения других задач радиоконтроля, не связанных с измерением параметров сотовых радиосистем.

В настоящей статье рассматривается анализатор параметров БС GSM-сетей, аппаратной базой которого является измерительное цифровое радиоприёмное устройство АРГАМАК-ИМ [1, 2].

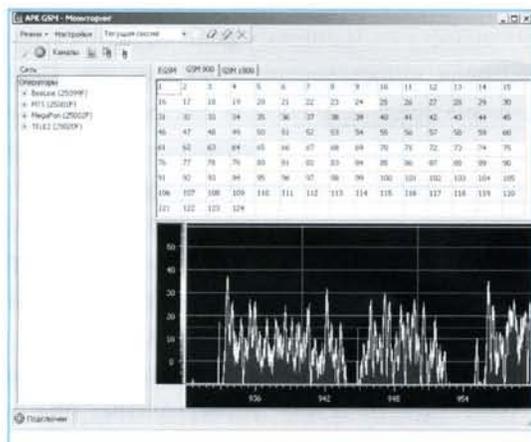


Фото 3. Окно программы СМО-GSM. Режим отображения каналов базовых станций

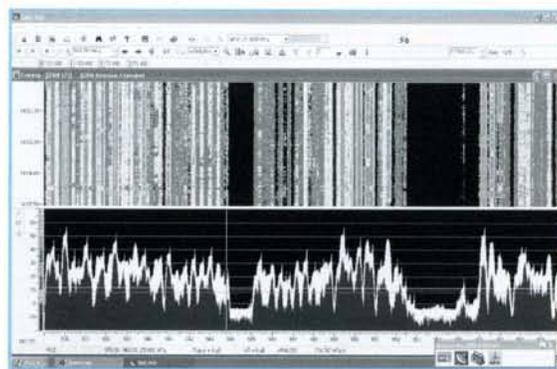


Фото 2. Окно программы СМО-ПАИ. Спектрограмма сигналов частотного диапазона базовых станций GSM 900

### Панорамный измерительный радиоприёмник АРГАМАК-ИМ

ЦРПУ АРГАМАК-ИМ имеет сертификат Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации об утверждении типа средства измерений. Диапазон рабочих частот составляет от 25 до 3000 МГц. Приёмник имеет метрологические характеристики, обеспечивающие возможность его применения для измерения параметров БС GSM-сетей, в том числе: пределы допускаемой относительной погрешности измерения частоты синусоидального сигнала не хуже  $3 \times 10^{-9}$ , предел погрешности измерений уровня сигнала не хуже 1,5 дБ, динамический диапазон по интермодуляции третьего и второго порядка – не менее 75 дБ [2].

Измерительное ЦРПУ АРГАМАК-ИМ выполнено в прочном корпусе со степенью защиты IP65, диапазон рабочих температур от +5 до +40° С. Устройство имеет внутренний аккумулятор, время непрерывной работы от которого составляет не менее 4 ч. ЦРПУ работает также от внешнего постоянного напряжения 9 – 32 В или от сети переменного тока 90 – 220 В, при этом внутренний аккумулятор автоматически заряжается. Масса приёмника с аккумулятором не превышает 5 кг, его габаритные размеры не более 300x300x200 мм.

Для подключения антенны используется радиочастотный разъём N-типа. Приёмник имеет выход внутреннего опорного генератора, выход цифрового демодулятора, вход сигнала внешнего опорного генератора, вход и выход сигнала промежуточной частоты 41,6 МГц. Мгновенная полоса пропускания приёмника составляет 2 МГц. Вход сигнала промежуточной частоты используется для подключения внешней аппаратуры, конвертора APK-KHB4, расширяющего диапазон рабочих частот до 18 ГГц.

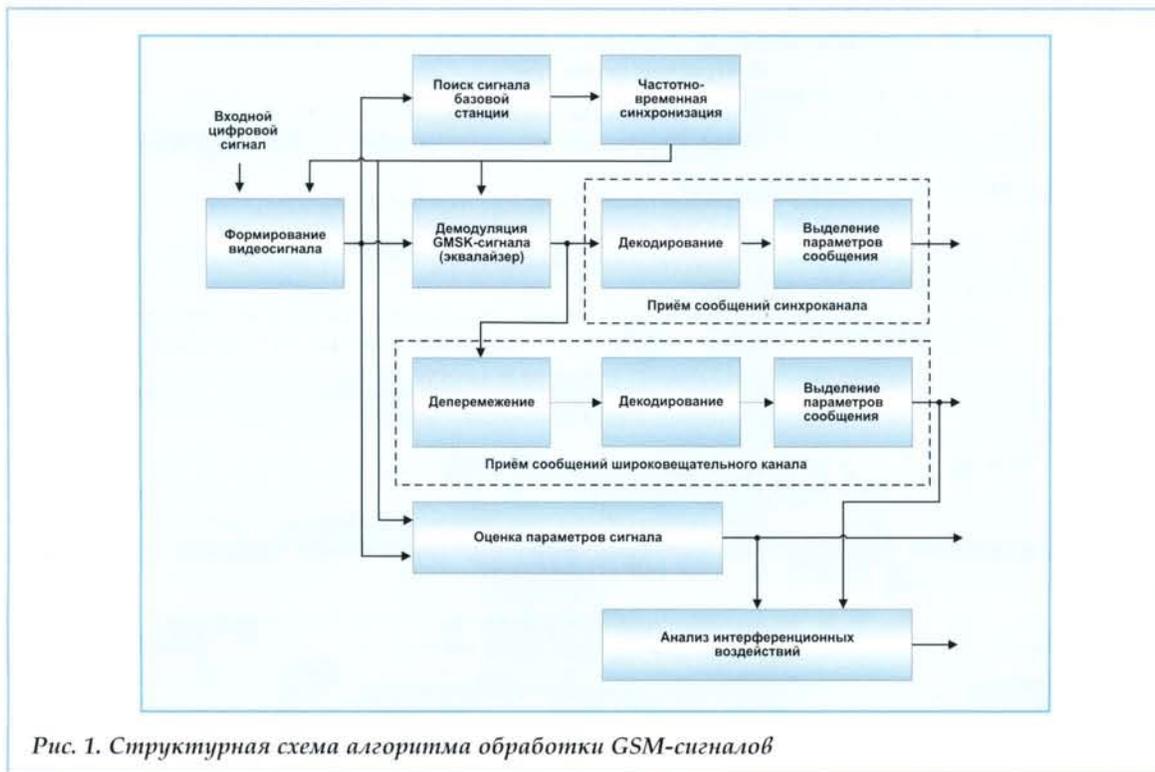


Рис. 1. Структурная схема алгоритма обработки GSM-сигналов

Внешняя управляющая ПЭВМ соединяется с приёмником по последовательному интерфейсу USB 2.0, по которому осуществляется передача спектров и временных сигналов в ПЭВМ, происходит управление приёмником.

Представленный анализатор предназначен для идентификации и измерения параметров радиосигналов БС GSM-сетей, работающих в различных диапазонах частот. Анализатор осуществляет приём только широковещательных данных, информация трафиковых каналов абонентов не используется. Он состоит из аппаратной части – измерительного ЦРПУ АРГАМАК-ИМ и программной части – программы системного математического обеспечения СМО-GSM, реализующей управление приёмником, приём широковещательных данных, измерение параметров сигнала, а также представление и анализ результатов.

В процессе анализа ЦРПУ перестраивается шагами по 2 МГц в заданном диапазоне частот, при этом цифровой сигнал с шириной полосы 2 МГц поступает в ПЭВМ, где осуществляются его преобразование и одновременный анализ десяти частотных каналов шириной по 200 кГц. На фото 1 показана измерительная установка, состоящая из управляющей ПЭВМ, ЦРПУ АРГАМАК-ИМ и измерительной антенны АИ5-0.

В комплект программ анализатора входят программы системного математического обеспечения СМО-GSM, СМО-ПАИ и СМО-КН. Под управлением программы системного математического обеспечения для панорамного

анализа и измерений СМО-ПАИ измерительное ЦРПУ АРГАМАК-ИМ решает практически все типовые задачи радиомониторинга, в том числе обеспечивает цифровой спектральный анализ со скоростью более 600 МГц/с и дискретностью спектра 3,125 кГц, измерение ширины спектра, определение вида и параметров модуляции сигналов. При наличии калиброванных антенн и навигационного GPS-приёмника данный комплект оборудования решает также задачу измерения напряжённости электромагнитного поля с привязкой к географическим координатам. На фото 2 показан экран ПЭВМ в режиме отображения спектральной и частотно-временной диаграммы сигналов БС GSM-сетей в диапазоне частот 935 – 960 МГц.

Системное математическое обеспечение картографии и навигации СМО-КН используется для отображения результатов измерения с привязкой к географическим координатам, оценки зон покрытия, мощности и местоположения БС. Для измерения параметров БС GSM-сетей используется программа СМО-GSM. Окно программы СМО-GSM в режиме отображения частотных каналов операторов сетей приведено на фото 3. При необходимости программный комплект может быть расширен другими программами.

**Приём широковещательных данных и измеряемые параметры GSM базовых станций**  
 Приём широковещательной информации БС предполагает процедуру формирования видеосигнала с необходи-

Таблица 1. Виды измерений и основные измеряемые параметры

Вид измерений	Изменяемые параметры
	данные синхроканала: BSIC(NCC, BCC), FN; данные ширококвещательного канала: LAI (MNC, MCC, LAC), CI, CA
Спектральные измерения	частотный сдвиг, ширина полосы частот, спектрограмма
Мощность	сигнала, символов сигнала
Качество сигнала	фазовая ошибка, уровень паразитного прохождения несущей, зависимость мощности пакета от времени, эквивалентная ширина полосы гауссовского фильтра
Канал распространения	профиль многлучёвости, эффективная длина канала распространения, отношение несущая/шум, отношение сигнал/(помеха+шум)
Качество приёма	частота битовой ошибки, частота пакетной ошибки
Интерференционные воздействия	выявляются конфликтные частотные каналы, используемые несколькими БС (одной или различных сетей); определяются относительные мощности сигналов этих станций
Местоположение БС	производится амплитудным методом по результатам измерения мощности сигнала в нескольких точках местности
Напряжённость поля	измеряется при наличии калиброванных антенн
Построение зоны покрытия	проводится по результатам измерения напряжённости поля в нескольких точках с учётом данных цифровых карт местности
Оценка мощности излучения передатчика	оценивается мощность излучения секторной антенны при известных координатах базовой станции, высоты подвеса антенны, диаграммы направленности антенны и результатов измерения напряжённости поля и данных цифровых карт местности

мой частотой отсчётов, процедуру поиска сигнала базовой станции, процедуру частотно-временной синхронизации, а также непосредственно процедуры приёма сообщений синхро- и ширококвещательного каналов. Структурная схема цифровой обработки GSM-сигналов, реализованная в программе СМО-GSM, представлена на рис. 1.

На вход программной части на промежуточной частоте с частотой дискретизации  $f_d = 6,4$  МГц поступает цифровой сигнал, из которого формируется видеосигнал. Для формирования видеосигнала определяется среднее значение амплитуды входного потока отсчётов, которое вычитается из каждого отсчёта в целях компенсации среднего значения АЦП (аналого-цифрового преобразователя) приёмника. Выполняется перенос на видеочастоту сигналов частотных каналов, в которых могут находиться: ширококвещательный канал (BSCN), синхроканал (SCH) и канал частотной коррекции (FSCN) [3]. После переноса частоты сигнал фильтруется для подавления высших гармоник и приведения исходной полосы сигналов к полосе 200 кГц. Далее осуществляется передискретизация сигнала так, чтобы преобразовать частоту следования отсчётов с исходной  $f_d$  к величине  $4f_c$ , где  $f_c = 270,83$  кГц – частота следования символов. В результате для каждого исследуемого частотного канала формируется поток цифровых отсчётов с

частотой  $4f_c$ . Для демодуляции данных сформированный сигнал дополнительно прореживается, при этом остаётся каждый четвёртый отсчёт (один отсчёт на символ).

Для определения наличия ширококвещательной несущей БС в выделенном частотном канале осуществляется поиск синхросигнала. Для этого сформированный видеосигнал поступает на фильтр, согласованный с известной обучающей последовательностью синхропакета. Для временных

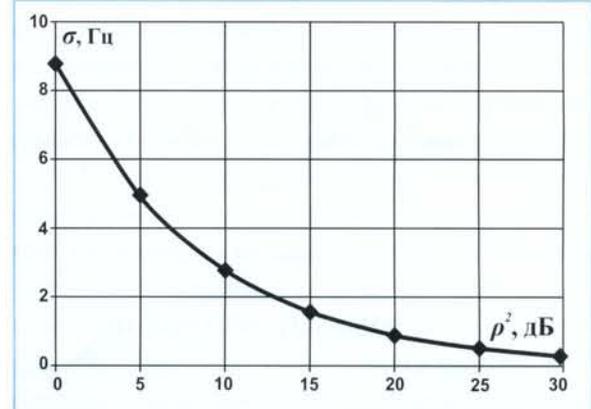


Рис. 2. Зависимость среднеквадратического отклонения оценки частотного сдвига от отношения сигнал/шум в канале

позиций априорного интервала (частота их следования  $4f_c$ ) формируется решающая функция в виде квадрата модуля выходного сигнала фильтра, которая сравнивается с адаптивным порогом. Если значения решающей функции не превышают порог на заданном временном интервале (где может быть несколько синхропакетов), выносится решение об отсутствии синхросигнала в данном частотном канале и дальнейшая работа с этим частотным каналом прекращается. Если для некоторых временных позиций имеет место превышение порога, выносится решение о наличии синхросигнала и временная позиция, соответствующая максимальному значению решающей функции, полагается оценкой временного положения синхропакета, то есть осуществляется временная синхронизация с сигналом БС.

По пакету частотной коррекции, положение которого однозначно связано с положением синхропакета, производится оценка частотной расстройки между генераторами БС и измерительного приёмника. В случае необходимости выполняется частотная коррекция входного видеосигнала. В процессе приёма данных и измерения параметров периодически осуществляется дополнительная временная синхронизация. Для приёма сообщений синхроканала (SCH) после установления частотно-временной синхронизации производится демодуляция GMSK-символов информационной части синхропакета, при этом используется оценка комплексной амплитуды сигнала. Демодулированные символы синхропакета поступают на свёрточный декодер, на выходе которого формируются оценки информационных и проверочных битов синхропакета. Если по результатам анализа проверочных битов синхропакет декодирован без ошибок, из соответствующих полей сообщения выделяются параметры сокращенного номера фрейма и идентификационный код базовой станции (BSIC).

Если по результатам анализа проверочных битов синхропакет декодирован с ошибками, осуществляется демодуляция GMSK-символов информационной части синхропакета с использованием эквалайзера. Эквалайзер эффективен при приёме в многолучевом канале. Коэффициенты эквалайзера рассчитываются в соответствии с критерием минимума среднего квадрата ошибки между известным полезным и принимаемым сигналом обучающей части синхропакета. Эквалайзер выполняет также функцию компенсации начальной фазы сигнала.

Приём сообщений широковещательного канала осуществляется следующим образом. В соответствии с полученными в синхропакете параметрами определяется номер текущего фрейма FN. По номеру фрейма определяются мультифреймы, в которых передаются информационные сообщения широковещательного канала. Затем осуществляется демодуляция символов сообщений, их дегермеживание и декодирование. В случае необходимости применяется эквалайзер. При расчёте коэффициентов эквалайзера используется обучающая последовательность текущего нормального пакета данных. Если по результатам анализа проверочных битов широковещательных сообщений они декодированы без ошибок, из соответствующих полей сообщений выделяются: идентификатор расположения (LAI), включающий идентификатор страны (MCC); идентификатор GSM-сети (MNC); идентификатор локальной области в пределах сети (LAC); идентификатор соты (CI) и номера частотных каналов, выделенных данной соте (CA). Время приёма широковещательной информации определяется структурой GSM-сигнала и составляет около 2 с. Принимаемые анализатором широковещательные данные и основные оцениваемые параметры БС GSM-сетей приведены в табл. 1.

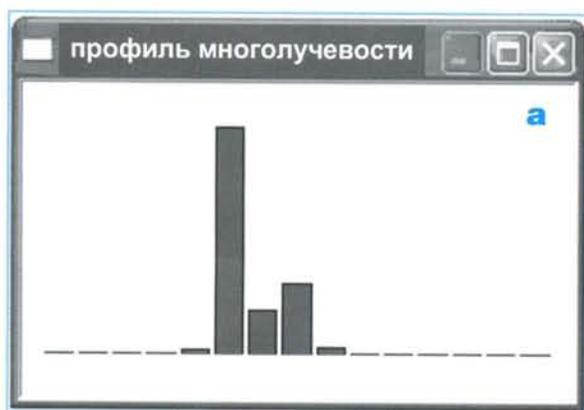


Фото 4. Пример оценки профиля многолучёвости: а – однолучевой канал; б – многолучевой канал

Для обнаруженных БС оценивается частотный сдвиг  $\Delta F$  как отклонение средней частоты сигнала базовой станции от средней частоты выделенного канала. Оценка частотного сдвига производится по обучающим последовательностям нескольких пакетов частотной коррекции. Пакет частотной коррекции используется только в том случае, когда информационная часть синхропакета, расположенного в последующем фрейме, успешно декодирована. Оценка частотного сдвига выполняется в соответствии с интерполяционным алгоритмом из [4], где получены его характеристики и показано, что оценка является гауссовской и несмещённой, а её дисперсия при достаточном числе отсчётов на интервале корреляции (что имеет место в данном случае) практически равна дисперсии оптимальной оценки:

$$D = 3/(\tau^2 T^2 m L^3 \rho^2), \quad (1)$$

где  $T = 3,69 \times 10^{-6}$  с – длительность символа;  $m$  – число успешно декодированных синхропакетов;  $L = 142$  – число используемых символов пакета частотной коррекции;  $\rho^2$  – отношение сигнал/(помеха+шум) в канале. На рис. 2 приведена зависимость среднеквадратического отклонения оценки частотного сдвига от величины  $\rho^2$  при  $m = 100$  (что соответствует времени анализа около 5 с). Расчёт показывает, что при отношении сигнал/шум в канале 6 дБ среднеквадратическое отклонение  $\sigma = D^{0,5}$  приближённо равно 5 Гц, а при отношении сигнал/шум в канале 10 дБ – 3 Гц. Поскольку распределение ошибки – гауссовское, погрешность оценивания с вероятностью 0,9 не превысит 8 и 5 Гц соответственно. Эти величины соизмеримы с погрешностью, обусловленной нестабильностью опорного генератора измерительного ЦРПУ. Поэтому дальнейшее увеличение точности оценивания частотного сдвига вряд ли целесообразно.

Ширина полосы частот GSM-сигнала определяется как спектральный интервал, в пределах которого лежит 99% передаваемой в данном частотном канале мощности. Мощность сигнала оценивается как средняя мощность сигнала базовой станции в полосе GSM сигнала 200 кГц, а мощность символов сигнала определяется как средняя мощность сигнала базовой станции в полосе GSM-сигнала при передаче символов полезной части пакетов. Оценка качества сигнала производится несколькими способами: по фазовой ошибке, вычисляемой как среднеквадратическое значение разности фаз принятого и идеально синтезированного сигнала; по уровню паразитного прохождения несущей – отношение мощности немодулированного сигнала к мощности модулирован-

ного сигнала. Зависимость мощности сигнала от времени в пределах одного временного слота, включающего активную часть пакета и защитный интервал, иллюстрирует соответствие временной маски пакета требованиям стандарта.

Эквивалентная ширина полосы гауссовского фильтра (параметр ВТ) характеризует ширину спектра цифрового сигнала с учётом ограниченной полосы пропускания цепей передатчика базовой станции. Оценка ВТ выполняется по обучающим последовательностям успешно декодированных синхропакетов на интервале анализа ( $m$  – количество синхропакетов). Для получения оценки используется интерполяционный алгоритм по аналогии с оценкой частотного сдвига. Полученная оценка – гауссовская, её точность практически совпадает с точностью алгоритма максимального правдоподобия. Параметр ВТ входит в GSM-сигнал достаточно сложным образом, поэтому аналитически получить выражение для характеристик его оптимальной оценки затруднительно. В этой связи было выполнено компьютерное моделирование алгоритма оценки ВТ. Расчёты показывают, что для отношения сигнал/шум (в канале) 10 дБ с вероятностью 0,9 погрешность оценки параметра ВТ не превышает 1%.

Одной из существенных причин ухудшения качества приёма является временная дисперсия сигнала или многолучёвость канала распространения. Профиль многолучёвости рассчитывается анализатором в соответствии с выражением:

$$P_n = \frac{1}{m} \sum_p \left| h_n^{(p)} \right|^2, \quad n = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где  $m$  – число успешно декодированных синхропакетов на интервале анализа  $h_n^{(p)}$ ;  $n$  – оценка импульсного отклика канала по обучающей части  $p$ -го синхропакета, обеспечивающая минимум среднего квадрата ошибки между входным и реконструируемым сигналом;  $N$  – длина оцениваемого профиля в символах.

На фото 4 приведены примеры оценки профиля многолучёвости для однолучевого и многолучевого каналов. Эффективная длина канала распространения определяется как корень квадратный второго центрального момента от профиля многолучёвости:

$$\tau_{RMS} = T \sqrt{\sum_{n=1}^N \alpha_i (n - \bar{n})^2}, \quad (3)$$

$$\text{где } \bar{n} = \sum_{n=1}^N \alpha_n n, \quad \alpha_n = P_n / \sum_{i=1}^N P_i.$$

Для однолучевого канала  $T_{RMS} = 0$ .

Отношение несущая/шум характеризует степень искажений сигнала, обусловленных каналом распространения и трактом передатчика и вычисляется как

$$z^2, \text{ дБ} = -20 \lg (EVM/100), \quad (4)$$

где  $EVM$  – среднеквадратическое значение разности между идеальным полезным сигналом и принимаемым сигналом. Величина  $EVM$  выражается в процентах и вычисляется по обучающим последовательностям синхропакетов.

Отношение сигнал/(помеха+шум)  $\rho^2$  определяется как отношение квадрата модуля амплитуды сигнала к сумме дисперсий шума и помехи (в том числе многолучевой) и характеризует энергетические свойства канала. Оценка отношения сигнал/(помеха+шум) выполняется по пакетам частотной коррекции.

$$\rho^2 = W_s / (W - W_s), \quad (5)$$

где  $W_s$  – оценка мощности символов сигнала;  $W$  – оценка средней мощности суммарного сигнала, включая полезный сигнал, шум и помехи.

Оценка качества приёма характеризуется частотой битовой ошибки BER, определяемой отношением успешно демодулированных битов к общему числу принятых битов успешно декодированных синхропакетов, и частотой пакетной ошибки PER, рассчитываемой как отношение успешно декодированных синхропакетов к общему числу принятых синхропакетов.

По результатам принятых данных и измеренных параметров сигналов выполняется анализ интерференционных воздействий. По номерам обнаруженных широковещательных частотных каналов и номерам частотных каналов найденных сот (параметр CA) выявляются конфликтные частотные каналы, используемые несколькими БС одной или нескольких сетей. Определяются также относительные мощности сигналов конфликтующих станций.

Вычисление местоположения БС осуществляется на основе амплитудного алгоритма вычисления координат, который основан на учёте зависимости амплитуды поля источника от расстояния до него. Исходными данными для расчётов являются выборка амплитуды поля и коор-

динаты анализатора на момент измерений, диаграмма направленности передающей антенны. После предварительной локализации без учёта рельефа местности местоположение базовой станции уточняется по данным цифровой карты о рельефе местности, застройке и растительности [1, 2, 5]. Для уточнения мощности передатчика используются измерения напряжённости электромагнитного поля в нескольких десятках точек. Задача решается на основе дискретного перебора значений мощности из диапазона, задаваемого оператором, в целях поиска такого значения мощности, который обеспечит максимальное совпадение результатов измерений с теоретическими расчётами. При этом учитывается рельеф местности, застройка и растительность. Для вычисления местоположения БС, построения зоны покрытия, уточнения мощности передатчиков используется программный пакет СМО-КН. Для повышения точности результатов измерения параметров сигналов БС, таких, как ширина полосы частот, мощность сигнала, зависимость мощности пакета от времени, фазовая ошибка и уровень паразитного прохождения несущей, должно выполняться вблизи базовой станции.

Измерение параметров, связанных с каналом распространения и качеством приёма, таких, как профиль многолучёвости, эффективная длина канала распространения, энергетические отношения, частота битовой и пакетной ошибки и напряжённость электромагнитного поля выполняются в произвольных местах зоны покрытия.

### Пример работы анализатора

В табл. 2 показан сводный результат анализа частотных каналов стандарта GSM-диапазона 900 МГц. Измерения проводились в фиксированной точке областного центра. В табл. 2 приведены принятые данные, а также часть измеренных параметров сигналов, обнаруженных БС. Пробел в таблице означает ошибки декодирования при приёме соответствующего сообщения. Буква «h» для параметров MCC, MNC означает представление в шестнадцатичной форме. Значение MCC, равное 250, является кодом России.

Видно, что была найдена 41 БС трех GSM-сетей (МТС, Мегафон, Билайн). Значения их идентификационных кодов MNC равно 01f, 02f и 99f. Найдено восемь сот сети 01f, четырнадцать сот сети 02f и десять сот сети 99f. Каждой из сот выделены не более 2 – 3 частотных каналов. Для четырнадцати БС удалённых сот широковещательную информацию полностью или частично принять не удалось, что обусловлено плохими условиями приёма. Из них девять сот не удалось идентифицировать на при-

Таблица 2. Результаты работы анализатора в фиксированной точке промышленного центра

№	$N_{ch}$	$F$ , Мгц	NCC	BCC	CI	MCC	MNC	LAC	CA	$\rho^2$ , дБ	$\tau_{RMS}$ , мкс	$\Delta F$ , Гц	PER	BER
1	1017	933,6	5	1	40842	250h	02fh	3600	117,1021	14,551	0,000	21,461	0,000	0,000
2	1019	934	5	1	40841	250h	02fh	3600	1023	14,737	0,000	19,478	0,000	0,000
3	1020	934,2	7	3	–	–	–	–	–	-3,750	8,130	31,800	0,043	0,062
4	1022	934,6	5	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5	1	935,2	5	0	19873	250h	01fh	2700	–	2,524	0,000	14,248	0,024	0,096
6	3	935,6	3	2	19973	250h	01fh	2700	3,28	6,848	0,000	21,415	0,000	0,013
7	5	936	3	5	19963	250h	01fh	2700	5,78	12,547	0,000	15,061	0,000	0,000
8	7	936,4	5	0	–	–	–	–	–	0,013	3,312	30,727	0,025	0,142
9	10	937	3	3	19962	250h	01fh	2700	10,108	12,206	0,000	10,950	0,000	0,000
10	15	938	5	0	19811	250h	01fh	2700	15,17	0,514	8,955	10,239	0,000	0,105
11	16	938,2	3	1	–	–	–	–	–	-1,490	11,170	4,617	0,028	0,083
12	21	939,2	3	2	19971	250h	01fh	2700	18,21	14,295	0,000	9,584	0,000	0,000
13	30	941	1	2	30196	250h	99fh	12289	30,32	15,060	0,000	9,034	0,000	0,000
14	34	941,8	1	5	30187	250h	99fh	12289	34,36	8,537	0,000	-41,634	0,000	0,001
15	35	942	1	5	–	–	–	–	–	-0,781	10,243	1,422	0,341	0,111
16	37	942,4	1	0	30205	250h	99fh	12289	35,37	0,710	8,516	-2,816	0,000	0,111
17	38	942,6	1	1	30056	250h	99fh	12289	38,59	7,533	0,000	1,076	0,033	0,000
18	42	943,4	1	0	39377	250h	99fh	12289	42,67	3,269	7,753	-26,080	0,000	0,062
19	43	943,6	1	3	30665	250h	99fh	12289	33,43	10,872	0,000	6,721	0,000	0,000
20	52	945,4	1	3	–	–	–	–	–	-0,702	7,088	44,120	0,122	0,120
21	54	945,8	1	1	–	–	–	–	54	-0,302	8,402	26,768	0,585	0,079
22	57	946,4	1	3	30195	250h	99fh	12289	57,69	9,476	0,000	-4,105	0,000	0,000
23	61	947,2	1	6	30197	250h	99fh	12289	61,65	14,476	0,000	-4,355	0,000	0,000
24	63	947,6	1	5	39375	250h	99fh	12289	55,63	12,260	0,000	-6,373	0,000	0,000
25	69	948,8	1	1	30206	250h	99fh	12289	–	2,817	0,000	15,926	0,098	0,073
26	73	949,6	7	3	40433	250h	02fh	3600	73	6,798	1,213	-13,385	0,000	0,028
27	74	949,8	5	4	–	–	–	–	–	0,807	10,978	-18,759	0,000	0,089
28	75	950	5	3	40821	250h	02fh	3600	75,86	12,774	0,000	11,405	0,000	0,000
29	76	950,2	5	4	40873	250h	02fh	3600	–	0,983	3,554	-18,715	0,073	0,103
30	81	951,2	5	6	40411	250h	02fh	3600	–	0,717	5,122	23,166	0,000	0,091
31	82	951,4	7	4	40911	250h	02fh	3600	82	3,709	0,000	-34,576	0,087	0,060
32	83	951,6	5	1	–	–	–	–	83,87	-3,192	8,280	-20,259	0,195	0,095
33	85	952	5	0	40421	250h	02fh	3600	85,116	8,718	0,000	-22,367	0,000	0,004
34	99	954,8	5	0	40422	250h	02fh	3600	99	3,275	2,565	-59,514	0,000	0,094
35	102	955,4	5	4	40813	250h	02fh	3600	84,102	6,896	1,244	-36,040	0,000	0,009
36	106	956,2	7	3	40432	250h	02fh	3600	106	14,824	0,000	-19,952	0,000	0,000
37	112	957,4	3	4	19023	250h	01fh	2700	8,112	3,012	3,791	-22,727	0,000	0,065
38	114	957,8	5	7	40751	250h	02fh	3600	–	4,501	0,000	-31,598	0,098	0,055
39	115	958	5	3	40522	250h	02fh	3600	72,115	5,704	0,000	-26,334	0,000	0,020
40	122	959,4	5	3	40823	250h	02fh	3600	82,122	3,135	2,267	-12,680	0,000	0,057
41	124	959,8	3	7	19022	250h	01fh	2700	14,124	15,314	0,000	-22,409	0,000	0,000

надлежность к сети. Анализ частотного сдвига сигналов показывает, что все БС удовлетворяют требованиям стабильности частоты опорного генератора. Хорошие условия приёма по параметру  $\rho^2$ , как правило, сопровождаются низким (нулевым) значением эффективной длины канала. При слабом сигнале достоверность измерения профиля многолучёвости и соответственно параметра  $\tau_{RMS}$  является небольшой. В этом случае имеем завышенную оценку параметра  $\tau_{RMS}$ .

Выполненный анализ внутри- и межсетевых интерференционных воздействий показал, что конфликтные частотные каналы, одновременно используемые БС различных сетей, отсутствуют. Найдены три частотных канала, используемых БС одной сети.

1  $N_{ch} = 35$  (942,0 МГц) – используется БС № 16 (CI = 30205, трафик-канал) и № 15 (CI не принят, широкополосный канал) сети 99f. Для точки приёма соотношение их мощностей равно 6 дБ.

2  $N_{ch} = 69$  (948,8 МГц) – используется БС № 25 (CI = 30206, трафик-канал) и № 22 (CI = 30195, широкополосный канал) сети 99f. Для точки приёма соотношение их мощностей равно 16 дБ.

3  $N_{ch} = 82$  (951,4 МГц) – используется базовыми станциями № 31 (CI = 40911, широкополосный канал) и № 40 (CI = 40823, трафик-канал) сети 02f. Для точки приёма соотношение их мощностей равно 2 дБ.

## Заключение

Анализатор базовых станций GSM-сетей состоит из аппаратной и программной частей: измерительного ЦРПУ АРГАМАК-ИМ и программы системного математического обеспечения СМО-GSM.

Исполнение измерительного ЦРПУ согласно IP65, возможность работы от встроенного аккумулятора и от внешней сети, широкий температурный диапазон, малые масса и габариты позволяют использовать анализатор в составе стационарных и мобильных станций радиомониторинга и как самостоятельную аппаратуру, пригодную для измерений параметров базовых станций в пешеходных зонах, внутри зданий и сооружений.

Системное математическое обеспечение СМО-GSM реализует приём широкополосных данных, измерение параметров и характеристик сигналов базовых станций, визуальное представление и анализ результатов. Входящие в состав комплекта программы СМО-ПАИ и СМО-КН расширяют возможности анализатора в плане панорамного спектрального анализа сигналов, поиска источников помех, определения координат радиопередатчиков базовых станций, построения их зон покрытия, оценке мощности излучения.

Анализатор обеспечивает измерение широкого перечня параметров базовых станций и каналов распространения радиоволн. По функциональным и метрологическим возможностям он не уступает анализаторам базовых станций GSM-сетей ведущих мировых производителей. 

## Литература

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского. – М.: Горячая линия–Телеком, 2006, с. 492.
2. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Кочкин Д.Е., Чубов Е.А. Использование цифрового измерительного приёмника АРГАМАК-ИМ для измерения напряжённости поля в мобильных станциях радиомониторинга / Специальная техника, 2006, № 3, с. 35 – 44.
3. European digital cellular telecommunications system (Phase 2+); GSM. Release 1999.
4. Каюков И.В., Манелис В.Б. Сравнительный анализ различных методов оценки частоты сигнала / Радиоэлектроника. Известия Вузов, 2006, т. 49, № 7, с. 42 – 56.
5. Козьмин В.А., Савельев А.М., Уфаев В.А., Чубов Е.А. Сравнение методов местоопределения источников радиоизлучения / Специальная техника, 2007, № 1, с. 30 – 38.