

УДК 621.396

## **Использование интеллектуальных антенн в системах мобильной связи для снижения перегрузок**

**О.А. Шорин, В.М. Щучкин**

### **Аннотация**

В данной статье проводится анализ зависимости нагрузки в соте сети подвижной радиосвязи (ПРТС) от угла наклона диаграммы направленности (ДН) базовой станции (БС). Определяются характеристики антенной техники, которые наибольшим образом влияют на показатели загрузки соты. Определяются перспективы использования интеллектуальных антенных систем совместно с алгоритмами раннего обнаружения локальных перегрузок на основе параметров мобильности абонента.

**Ключевые слова:** анализ зависимости нагрузки в соте; интеллектуальные антенны; алгоритм раннего обнаружения локальных перегрузок.

### **1. Введение**

Существующие системы ПРТС испытывают частые локальные перегрузки вследствие большого количества абонентов, концентрирующихся на отдельных участках сети в часы наивысшей нагрузки. Подобная ситуация характерна для крупных населенных пунктов и городов (возникновение заторов на дорогах, проведение массовых мероприятий и т.д.). Решение данной проблемы - применение алгоритмов оптимизации, способных изменять зону обслуживания БС. Предположим, что абоненты распределены по территории обслуживания равномерно, что в большинстве случаев соответствует действительности, отсюда уменьшение площади обслуживания соты повлечет за собой

уменьшение количества абонентов, а, следовательно, и уменьшение общей интенсивности вызовов в данной соте. Абоненты, оставшиеся вне зоны обслуживания рассматриваемой БС, получают обслуживание, используя каналный ресурс соседних сот, тем самым снижая показатель блокировки вызовов всей сети в целом. Справедливо и обратное утверждение: сотам с низкими показателями загрузки следует увеличивать площадь обслуживания для увеличения коэффициента загрузки сети. Площадь соты можно регулировать следующими методами:

- на основе измерения временной задержки;
- на основе измерения уровня мощности сигнала на мобильном аппарате (МА);
- на основе использования интеллектуальных антенных систем (ИАС).

Первые два метода сложно реализовать на практике, т.к. необходимо знать параметры МА в каждый момент времени. Причем, при проведении мониторинга, сигнальная нагрузка на физические каналы значительно увеличится. Для использования метода изменения площади на основе использования ИАС, необходимо лишь знать факт присутствия абонента в соте. Реализация данного алгоритма вполне возможна в существующих системах ПРТС, для этого достаточно установить на МА специализированное программное обеспечение (ПО) MIDlet. Данное ПО будет отслеживать, при помощи стандартных средств предусмотренных в стандарте мобильной связи, уровень сигнала на МА и давать команду передатчику о излучении сигнала «регистрации» на БС, уровень мощности сигнала которой в точке приема МА наибольший.

## **2. Алгоритм оптимизации покрытия сети подвижной радиосвязи при использовании интеллектуальных антенн**

### **2.1 Возможности антенной техники**

Рассмотрим изменение площади обслуживания БС за счет изменения наклона ДН. Антенная техника подобного класса существует, и кроме того, используется в коммерческой эксплуатации, особенно в системах с кодовым разделением каналов.

Изменение угла наклона антенны базовой станции можно осуществлять двумя способами: механический наклон антенны, электрический наклон ДН.

Простейший метод наклона луча антенны в вертикальной плоскости — использование механического узла для наклона всей антенны. Однако при этом

искажается форма ДН антенны в горизонтальной плоскости, появляется зависимость угла наклона и коэффициента усиления антенны (КУ) от азимута, что не всегда учитывается в сетевом планировании. При электрическом наклоне луча антенны устраняется этот недостаток. В этом случае угол наклона не зависит от азимута, а форма ДН антенны остается неизменной.

Наклон луча обеспечивается запиткой диполей антенны со сдвигом по фазе, а сама антенна остается в вертикальном положении. Такая запитка обеспечивается либо кабельной разводкой (что дает фиксированный наклон луча), либо фазовращателями, расположенными между этажами диполей, как схематично показано на рис. 1. Во втором случае электрический наклон луча будет регулируемым.

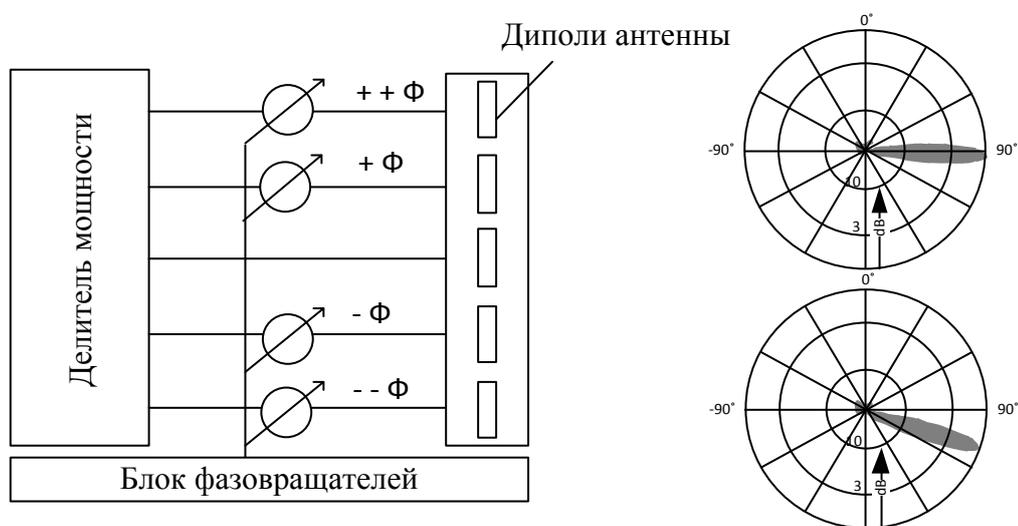


Рис. 1

Одной из систем подобного класса является система RET производства компании KATHREIN [4]. Данное решение позволяет удаленно изменять электрический угол наклона ДН антенны. Скорость изменения до 10 с/град.

## 2.2 Зависимость нагрузки от площади соты

Очевидно, изменяя угол наклона ДН, можно изменять площадь обслуживания соты. Определим зависимость нагрузки в соте от ее площади, для этого положим, что абоненты распределены по территории равномерно. Вероятность блокировки вызова абонента, вследствие перегрузки в секторе/соте в простейших случаях определяется формулой Эрланга В. Выразим суммарную нагрузку  $\rho_\Sigma$  следующим образом:

$$\rho_\Sigma = I\rho_{y0} \quad (1)$$

где  $\rho_{уд}$  - удельная нагрузка создаваемая абонентом,  $I$  - число абонентов в соте. Очевидно, что  $I$  будет зависеть от плотности абонентов и площади покрытия соты  $S$ . Число абонентов можно выразить следующим образом:

$$I = \rho_m S \quad (2)$$

где  $\rho_m$  плотность абонентов на заданной территории,  $аб/км^2$ ,  $S$  площадь соты  $км^2$ . Таким образом, меняя площадь покрытия соты, можно изменять значение текущей нагрузки в соте.

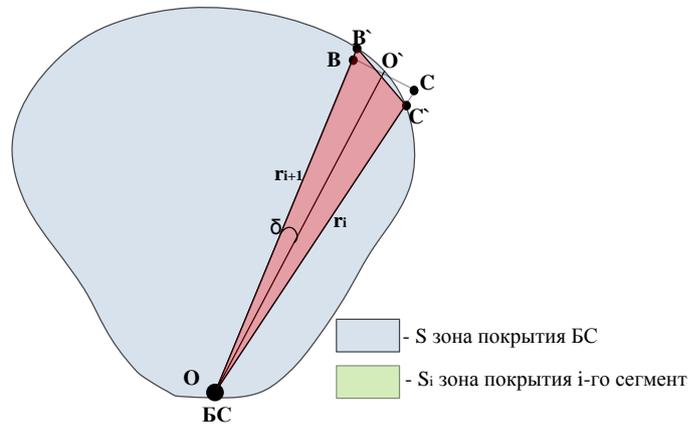
### 2.3 Расчет зависимости площади покрытия от угла наклона антенны

**Определение площади сегмента:** зона покрытия БС представляет собой сложную фигуру, площадь которой возможно представить в виде суммы площадей сегментов  $S_i$  (треугольников), см рисунок 1.

Очевидно, что общая площадь покрытия вычисляется, как сумму сегментов площадей эквивалентных треугольников. Площади  $\triangle OBC \approx \triangle O'B'C'$ , следовательно площадь сегмента  $S_i$  можно вычислить при известных значениях  $r_i$ ,  $r_{i+1}$  и  $\delta$ :

$$S_i = tg(\delta) \left( \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)^2 \quad (3)$$

Устремляя угол  $\delta \rightarrow 0$ , можно получить  $S_i$ , с любой точностью.



**Рис. 1.** Площадь покрытия BS

**Определение «дальности связи»:** для расчета используем общеизвестные эмпирические модели распространения радиоволн, применимые для анализа трасс распространения сигнала с учетом значительной застройки.

Зададимся допустимыми потерями распространения  $L_{\text{доп}}$ . В общем виде выражение для  $L_{\text{доп}}$  будет иметь следующий вид:

$$L_{\text{доп}} = P_{\text{изл}} - \varepsilon_{\text{пр}} + Ku_{\text{пр}} + Ku_{\text{пер}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{изл}}$  – мощность излучения МА,  $\varepsilon$  – чувствительность приемника БС,  $Ku_i$  – коэффициент усиления антенны передатчика/приемника. Индекс  $i$  характеризует направление от БС к МА или шаг сетки аппроксимации ДН. С другой стороны для вычисления  $L_{\text{доп}}$  можно воспользоваться эмпирической формулой расчета, например моделью Хата.

$$L_{\text{доп}} = 69,55 + 26,15 \lg(f) - 13,82 \lg(h_{\text{бс}}) - \alpha(h_{\text{ма}}) + (44,9 - 6,55 \lg(h_{\text{бс}})) \lg(r_i) \quad (5)$$

Из уравнения (5) можно легко выразить «дальность связи»:

$$r_i = 10^{\left( \frac{L_{\text{доп}} - 69,55 - 26,15 \lg(f) + 13,82 \lg(h_{\text{бс}}) + \alpha(h_{\text{ма}})}{(44,9 - 6,55 \lg(h_{\text{бс}}))} \right)} \quad (6)$$

#### **Определение зависимости «дальности связи» от угла наклона ДН антенны БС:**

изменение угла наклона антенной решетки БС можно добиться несколькими способами:

- электрический наклон, путем изменения фаз тока на элементах антенной решетки;
- физический наклон, путем физического наклона полотна решетки относительно своей вертикальной оси.

Выбор способа наклона ДН зависит от условий эксплуатации антенной системы и требований к техническим характеристикам антенного комплекса. Определить зависимость «дальности связи» от угла наклона ДН антенны БС можно несколькими способами:

- аналитический способ;
- практический способ;
- использование специализированного ПО.

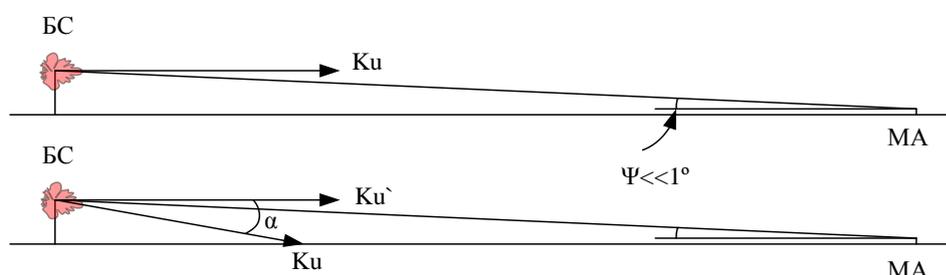
**Аналитический способ:** рассмотрим линию связи МА-БС при условии, что МА находится на максимально дальнем расстоянии, в данном направлении, на границе зоны уверенного приема. При реальных условиях (см. таб. 1), максимальное значение «дальности связи», при использовании модели распространения Хаты, будет достигать 6 км. Это значит, что угол под которым МА «смотрит» на БС в вертикальной плоскости колеблется от 0 до 1 градуса.

Типовые значения перед./прием. радиосредств (РС) ПРТС GSM

Таблица №1.

Параметр	Значение	Ед. измер.	Знач. парам.
f	900	МГц	рабочая частота
$h_{bc}$	30	м	высота подвеса РС БС
$h_{ma}$	2	м	высота подвеса РС МА
$P_{изл}$	25	дВм	мощность излучения передатчика МА
$\epsilon_{пр}$	-110	дВм	чувствительность приемника БС
$Ku_{bc}$	17,15	дВi	усиление антенны БС
$L_{доп}$	152,15	дВ	допустимые потери для максимума ДН

В данном случае он приблизительно равен  $5 \cdot 10^{-3}$  радиан, следовательно уровень поля в удаленной зоне, при наклоне ДН, определяется значением КУ антенны, в плоскости параллельной земле, при небольших отклонениях от горизонтальной оси ДН антенны. Данный принцип пояснен на рисунке 2.



**Рис.2.** Определение уровня поля на границы зоны обслуживания БС

Зная значения КУ ДН в каждой точке пространства (с определенным интервалом) или формулу, описывающую диаграмму направленности, возможно вычислить  $g_i$  в каждом направлении.

Данный способ удобен для написания машинного алгоритма, так как все значения КУ можно задать апросимирующим полиномом, однако при данном способе сложно учесть эффекты переотражения сигнала, а так же появление дополнительных ошибок, из-за аппроксимации ДН.

**Практический способ:** суть данного способа заключается в измерении уровня поля конкретной изучаемой соты. При этом необходимо провести большое количество экспериментальных измерительных работ, что позволит с достаточной точностью определить значение «дальности связи» во всех интересующих направлениях. Данный метод хорошо описывает реальную ситуацию и уровень поля в соте, однако в данном случае приходится говорить о большом количестве натурных испытаний.

**Использование специализированных программных продуктов:** данный способ позволяет совместить простоту расчета и надежность полученных результатов. Используя

для расчета уровня поля можно получить выборку результатов, зависимости «дальности связи» в любом направлении от угла наклона ДН  $\alpha$ . Далее аппроксимировать полученную зависимость полиномом  $g(\alpha)$ , что позволит легко проводить необходимые расчеты.

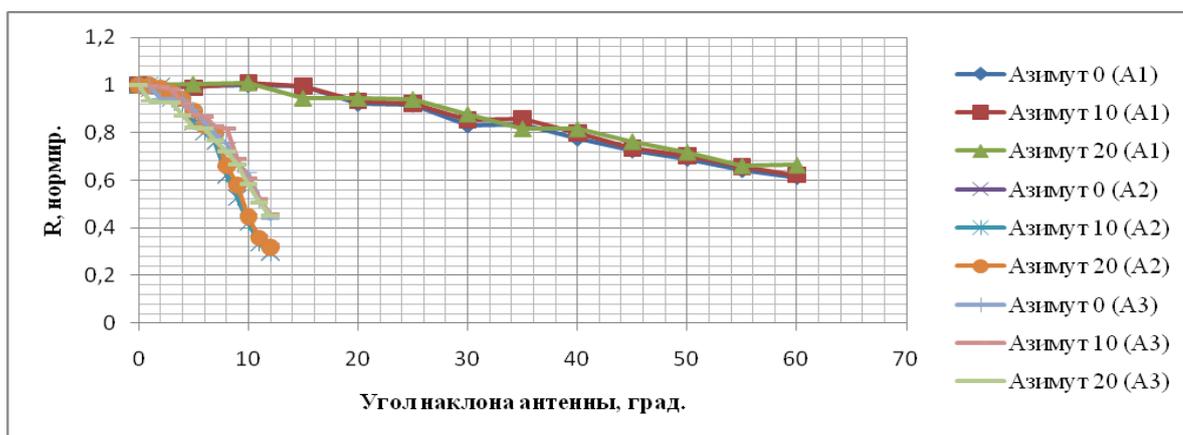
Проведем подобные исследования при помощи ПО отечественного разработчика ONEGA RPLS. Характеристики антенн и начальные условия эксперимента приведены в таблице 2.

Начальные условия эксперимента

Таблица № 2.

Параметр БС	Значение
Стандарт	GSM900
Название	GSM900 Nortel
Чувствительность приемника $\epsilon_{пр}$	-110 дБм
Высота подвеса антенны	30 м
Параметры антенны БС№1 (А1)	
Тип антенны	730680X2
$K_u$	7,15 dBi
Ширина ДНА верт.	75°
Ширина ДНА гориз.	103°
Параметры антенны БС№2 (А2)	
Тип антенны	728590X2
$K_u$	14,15 dBi
Ширина ДНА верт.	17°
Ширина ДНА гориз.	57°
Параметры антенны БС№3 (А3)	
Тип антенны	728684X2
$K_u$	17,65 dBi
Ширина ДНА верт.	13°
Ширина ДНА гориз.	37°

Нормированные значения зависимости расстояния от угла наклона  $g(\alpha)$ , для разных азимутов, для антенн №1-3 приведены на рисунке 3.



**Рис 3.** Зависимость «дальности связи» от угла наклона  $r_i(\alpha)$ , нормированные значения, антенна №1-3

Нормированное значение «дальности связи» практически не зависит от азимута, в котором происходит измерение. Отсюда: для определения зависимости «дальности связи» от угла наклона антенны, достаточно знать аппроксимированную зависимость среднего значения полученных функций.

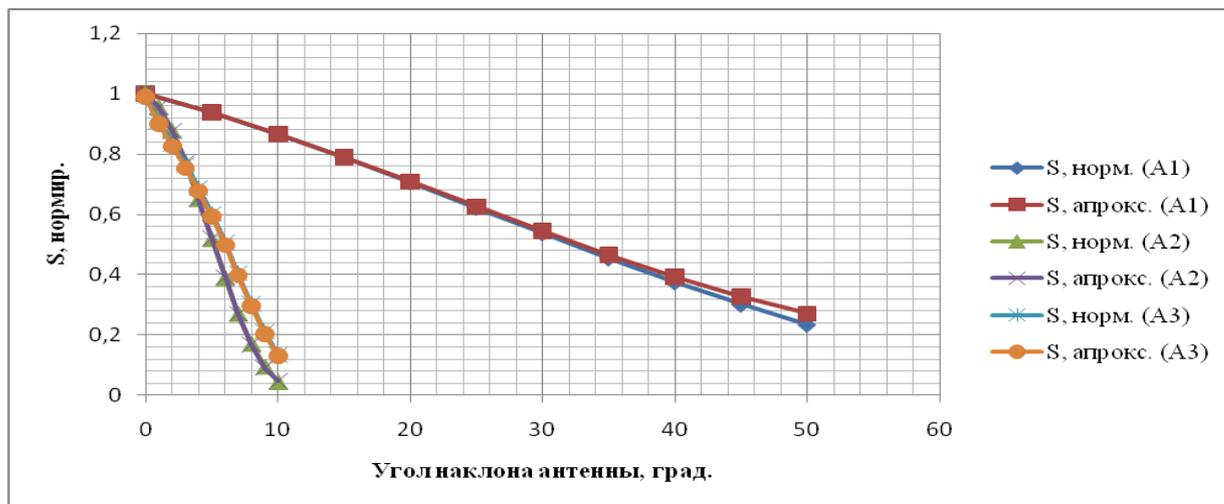
Воспользуемся аппроксимацией позволяющей получить наименьшее среднеквадратическое отклонение. Результаты аппроксимации приведены в таблице 3.

Результаты аппроксимации

Таблица № 3.

Антенна	Аппроксимирующий полином	СКО
1	$1,02-0,003\alpha-0,000065\alpha^2$	0,003
2	$1-0,00642\alpha-0,00477\alpha^2$	0,00088
3	$1,000236-0,0256675\alpha+0,00367\alpha^2-0,000745\alpha^3+0,000025\alpha^4$	0,0012

Используя полученные аппроксимирующие полиномы, КУ антенн в  $i$ -ых направлениях в горизонтальной плоскости, а так же (3) и (6), рассчитаем зависимость значения нормированной площади обслуживания от угла наклона ДН антенн. Полученные графики приведены на рисунке 4.



**Рис 4.** Зависимость площади обслуживания от угла наклона ДН, антенна №1-3

Результаты аппроксимации зависимости площади обслуживания соты от угла наклона антенн, приведены в таблице 4.

Результаты аппроксимации  $S(\alpha)$

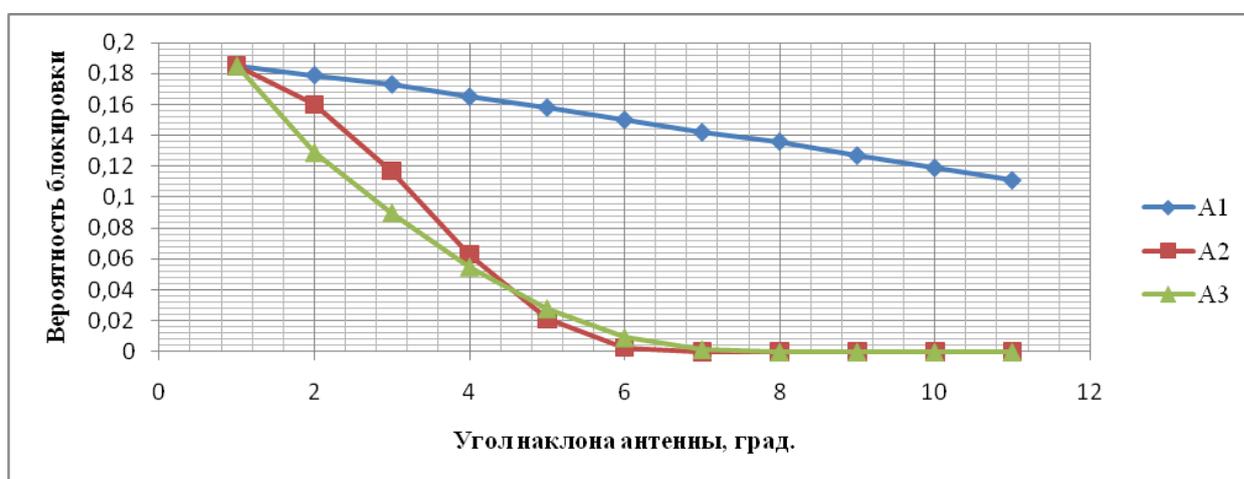
Таблица №4

Антенна	Аппроксимирующий полином	СКО
1	$0,999876-0,011533\alpha-0,000211\alpha^2+0,000003\alpha^3$	0,0024
2	$1,001461-0,02631\alpha-0,021044\alpha^2+0,001414\alpha^3$	0,000006
3	$0,9865-0,10026\alpha-0,013692\alpha^2+0,002598\alpha^3+0,000137\alpha^4$	0,001

Исходя из приведенного анализа, получим зависимость вероятности блокировки вызова от угла наклона антенн. Для этого зададимся следующими исходными данными:

$S_{\max}$ - максимальная площадь покрытия соты для всех трех антенных образцов	3,6 км <sup>2</sup>
$\rho_{уд}$ - удельная нагрузка создаваемая абонентом	0,015 Эрл
$N$ - число каналов трафика	25
$P_{\text{бл}}$ - начальное значение вероятности блокировки вызова	0,181

Результаты расчетов удобно представить в виде графика (см. рисунок 5) – зависимости вероятности блокировки вызова от угла наклона антенн. При расчетах использовались антенные образцы 1 - 3.



**Рис 5.** Зависимость вероятности блокировки вызова от угла наклона антенн

Из рисунка 6 видно, что характер зависимости  $P_{\text{бл}}$  от угла наклона антенны в основном определяется шириной ДН в вертикальной плоскости. Полученный результат говорит о том, что для каждой конкретной ситуации, возможно подобрать антенну с подходящими параметрами ДН. Например: если необходимо плавно регулировать нагрузку в соте и при этом важна точность регулировки, необходимо использовать антенны с широкой ДН в вертикальной плоскости (см. антенна №1).

#### **2.4 Алгоритм адаптивного формирования луча ДН, с учетом предсказания перераспределения абонентской нагрузки**

В работах [1] и [2] представлены алгоритмы раннего определения возможности возникновения перегрузок в системе, основанные на контроле межсотовых перемещений и представлены методы оценки мобильности абонента. Применяя подобные алгоритмы предсказания перегрузок и оценки параметров потока абонентов для сетей ПРТС с ИАС,

возможно своевременно предсказывать и устранять всплески нагрузки при сохранении вероятности блокировки системы в установленных рамках.

В работе [1] алгоритм раннего обнаружения перегрузок рассматривается как ряд этапов, на которых решаются следующие задачи:

- **Первый этап** - наиболее ранний этап предсказания перегрузок, организуется на основе обнаружения и оценки параметров изменившейся модели потоков, описывающей перемещения абонентов на границе соты;
- **Второй этап** - во время второго этапа прогноза решается задача оценки задержки до возникновения перегрузки, формирования длительности интервала дополнительного контроля и порога срабатывания, а также задача вывода соотношений для расчета вышеперечисленных параметров на основе оценок характеристик мобильности;
- **Третий этап** - прогнозирования на базе анализа роста информационной нагрузки соты. Сопоставление динамики роста числа абонентов и средней информационной нагрузки соты.

В данной работе рассмотрим только две наиболее ранние стадии, так как параметры, оцениваемые на данных этапах, наиболее важны для работоспособности алгоритмов оптимизации, использующих АИС.

На *первом этапе* необходимо определить наличие изменения параметров мобильности абонентов. Поэтому, для обнаружения изменения интенсивности входящего/исходящего потока синтезированы правила для случаев с различным характером изменения интенсивности [1]. В данной статье рассмотрим случай с скачкообразным характером изменения интенсивности. Правило обнаружения изменения интенсивности входящего потока будет иметь следующий вид:

$$\max_{t \in [0, T]} \left\{ \left( \frac{n_z(t)}{t} \right)^{n_z(t)} \left( \frac{N_z - n_z(t)}{T - t} \right)^{N_z - n_z(t)} \right\} \begin{matrix} > H_1 \\ < H_2 \end{matrix} > \Pi \quad (7)$$

где  $t$  – параметр предполагаемого момента возникновения скачка,  $n_z(t)$  – число запросов, поступивших на интервале времени  $[0, t]$ ,  $N_z$  общее число запросов, поступившее на БС на интервале анализа  $[0, T]$ ,  $H_0$  и  $H_1$  обозначают решения в пользу гипотезы и альтернативы.  $\Pi$  – постоянный порог, величина которого определяется по заданной вероятности ложного обнаружения  $P_\alpha$  альтернативы [1].

Для определения скачка интенсивности исходящего потока воспользуемся следующим соотношением:

$$\ln(\Lambda(t, \tau)) = M(t, \tau) \underset{H_2}{\overset{H_1}{>}} \Pi(P_\alpha) \quad (8)$$

где,  $\Lambda(t, \tau)$  определяется из (11),  $\Pi(P_\alpha)$  - порог, вероятность превышения которого статистикой (8), при справедливости гипотезы  $H_0$ , равна заданной величине  $P_\alpha$ .

$$\Lambda(t, \tau) = \frac{W_{\max}(\vec{t}, \vec{\tau} | H_1)}{W_{\max}(\vec{t}, \vec{\tau} | H_0)} = \frac{\left( \frac{K(\hat{t}_0)}{\hat{t}_0 \cdot \Xi_1(\hat{t}_0)} \right)^{K(\hat{t}_0)} \cdot \left( \frac{K - K(\hat{t}_0)}{(T - \hat{t}_0) \cdot \Xi_1(\hat{t}_0)} \right)^{K - K(\hat{t}_0)}}{\left( \frac{K}{T \cdot \Xi_1(T)} \right)^K} \cdot \exp \left[ \frac{1}{4} (K - K(\hat{t}_0)) \frac{\left( \Xi_2(\hat{t}_0) - 2 \frac{\tau_{\text{cp}}(\hat{t}_0)}{T - t_0} \cdot \Xi_1(\hat{t}_0) \right)^2}{\left( \frac{4}{3} \Xi_3(\hat{t}_0) - \frac{\tau_{\text{cp}}(\hat{t}_0)}{T - t_0} \cdot \Xi_2(\hat{t}_0) - 2 \frac{D_\tau(\hat{t}_0)}{(T - t_0)^2} \cdot \Xi_1(\hat{t}_0) \right) \cdot \Xi_1(\hat{t}_0)} \right] \quad (9)$$

$K(\hat{t}_0)$  - число запросов на выход из соты/зоны, полученное от абонентов на интервале  $[0, \hat{t}_0)$ ,  $\hat{t}_0$  - условная оценка максимального правдоподобия для неизвестного момента возникновения нестационарного поведения  $t_0$ ,  $K$  - число запросов на выход (отключение) из соты/зоны, принятое на интервале анализа,  $\Xi_1(\hat{t}_0)$ ,  $\Xi_2(\hat{t}_0)$ ,  $\Xi_3(\hat{t}_0)$ ,  $\tau_{\text{cp}}(\hat{t}_0)$ ,  $D_\tau(\hat{t}_0)$  - числовые коэффициенты, вычисляемые исходя из выборки моментов входящего потока  $t_1, t_2, \dots, t_{N_z}$  и выходящего потока абонентов соты  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_K$  [1].

В случае обнаружения согласно правилу (7) или (8) изменения интенсивности потока входящих регистраций или выходящего потока, обеспечивающих рост числа абонентов, всегда должно выноситься решение о возможности перегрузки. Далее, пользуясь соотношениями для оценки параметров мобильности представленные в [1], получим оценку для параметров  $\hat{\lambda}^m$  (оценка параметр мобильности абонентов входящего потока в соту)

$$\hat{\lambda}^\mu = \frac{N_z - n_z(\hat{t}_0)}{T - \hat{t}_0} \quad (10)$$

и  $\hat{\mu}^\mu$  (оценка параметра мобильности абонентов исходящего потока)

$$\hat{\mu}^\mu = \frac{1}{T - \hat{t}_0} \frac{K - K(\hat{t}_0)}{\Xi_1(\hat{t}_0)}, \quad (11)$$

определим  $\rho^\mu = \hat{\lambda}^\mu / \hat{\mu}^\mu$  и сравним полученный результат с  $\rho_{\max}^\mu$ . Критический уровень можно определить либо из максимального числа абонентов в соте:

$$\rho_{\max}^\mu = f_{I_{\max}+1}^{-1}(1 - P_\alpha) \quad (12)$$

где  $f_I^{-1}(\cdot)$  обратная функция «функции выживания» Эрланга [1], либо задавшись допустимым уровнем вероятности перегрузки  $P_{кр}$

$$\rho_{\max}^\mu = \left( \frac{\lambda^\mu}{\mu^\mu} \right)_{\max} = x_{2N} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\lambda/\mu} \right) \quad (13)$$

где  $x_{2N}$  - корень уравнения

$$e^{-x} \frac{x^N}{N!} = P_{кр} \quad (14)$$

лежащий на интервале  $(0, N)$ , где  $N$  число каналов в системе. Если  $\rho_{\max}^\mu < \rho^\mu$ , необходимо пользоваться алгоритмами оптимизации, например, воспользоваться методикой, описанной в п. 2.2-2.3 данной статьи. Таким образом, положив, что  $I = \rho^\mu$ , а так же задавшись плотность абонентов и воспользовавшись соотношением (2), можно определить площадь соты  $S$ , при которой показатели качества обслуживания вызовов будут удовлетворять необходимому уровню, при этом  $I = \rho_{\max}^\mu$ . Изменение площади обслуживания производится путем регулирования угла наклона ДН антенны БС, см. п. 2.2.

Во время *второго этапа* прогноза решается задача оценки задержки до возникновения перегрузки, формирования длительности интервала дополнительного контроля и порога срабатывания, а также задача вывода соотношений для расчета вышперечисленных параметров на основе оценок характеристик мобильности.

В итоге, были получены основные соотношения для прогнозирования перегрузки на втором этапе: порог запуска процедуры перераспределения ресурса, длительность

процедуры дополнительного контроля. Из результатов, полученных в [1], становится ясно, что доступный запас времени на изменение площади обслуживания, составляет примерно от 200 до 400 сек. При средней скорости изменения угла наклона ДН 10 с/град [4], необходимое время на оптимизацию покрытия будет составлять от 30 до 150 сек, что вписывается в отведенные рамки.

Решение о введении процедуры дополнительного контроля принимается только при наличии некоторого запаса по ресурсу времени после предсказания перегрузки.

### **3. Заключение**

1. Изменение параметров диаграммы направленности антенны является эффективным методом регулирования нагрузки в соте, при этом характер изменения вероятности блокировки напрямую зависит от параметров ДН;

2. Использование интеллектуальных антенных систем совместно с алгоритмами раннего обнаружения локальных перегрузок на основе параметров мобильности абонента является перспективной технологией для улучшения качества обслуживания в сетях ПРТС. Данное решение позволит избежать увеличения показателей блокировки вызовов в сети и увеличить загрузку системы в целом, за счет адаптивного перераспределения радиопокрытия.

3. Необходимо отметить, что при расчете зависимости вероятности блокировки вызова от угла наклона антенны, была использована эмпирическая модель Хата, которая позволяет вычислить мощность сигнала в точке приема с точностью не более 8 дБ, что вносит дополнительную погрешность в расчеты. При условии высокой крутизны ДН в вертикальной плоскости, и дополнительных потерь, при распространении радиоволн в городских условиях, ошибка расчета «дальности связи» может иметь критический характер для работы алгоритма, поэтому необходимо проведение дополнительных исследований, с целью уточнения зависимости площади покрытия соты от угла наклона антенны БС. При применении алгоритма на реальных системах, необходимо проводить натурные изыскания, с целью изменения уровня поля, для наиболее точного определения площади покрытия.

### **Библиографический список**

1. Шорин О. А. Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи : Дис. ... д-ра. техн. наук / МТУСИ. – М., 2005. – 351 с.
2. Демьянов А.И. Оценка параметров скачков нагрузки в сотовых сетях подвижной связи//Электросвязь. – 2002. – №1. – С.33 – 36.
3. Джейкс У.К. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ. - М.:Связь, 1979. - 520 с.
4. Алехин Ю.Н. Дистанционное управление положением луча в панельных антеннах KATHREIN//Мобильные системы. - 2003г. - №3. - С. 62-66.

### **Сведения об авторах**

Шорин Олег Александрович, профессор Московского технического университета связи и информатики, д.т.н., член-корреспондент РАЕН.,

МТУСИ, ул. Авиамоторная, д. 8 а, Москва; тел.: (985) 960-09-52; e-mail:  
[oshorin@rambler.ru](mailto:oshorin@rambler.ru)

Щучкин Владимир Михайлович, аспирант Московского технического университета связи и информатики, тел.: (985)441-90-77; e-mail: vlad.sh86@yandex.ru