

задачі, так і вимоги замовника розрахунків, а значить, підвищує загальну ефективність роботи.

### *Список літератури*

1. Бэбб Р., Мак-Гроу Дж., Аксельрод Т. Программирование на параллельных вычислительных системах / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 376 с.
2. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления: Учеб. пособ. для вузов по направлению 510200 «Прикладная математика и информатика». – СПб.: БХВ - Петербург, 2004. – 608 с.
3. Методы и модели планирования ресурсов в Grid – системах / В.С. Пономаренко, С.В. Листровой, С.В. Минухин, С.В. Знахур: Монография. – Х.: ВД «ИНЖЕК», 2008. – 408 с.
4. Листровой С.В., Тимошенко Е.В. Создание основанной на идее рангового подхода процедуры оптимального распределения заданий в Grid системе и исследование эффективности её алгоритма // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. - № 5, 6. – С. 44-51.
5. Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И. Теория систем и оптимального управления. – М.: Министерство обороны СССР, 1988. – Ч. 2: Понятия, модели, методы и алгоритмы оптимального выбора. – 589 с.
6. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1988. – 552 с.
7. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 512 с.

УДК 656.254.16:621.396.931

*Саенко А.С., здобувач (УкрДАЗТ)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСЛАБЛЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ, НА СТОИМОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ПОДСИСТЕМЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТИ GSM-R**

*Введение.* С позиций внедрения новых систем железнодорожной технологической радиосвязи (ЖТР) рассматривается переход на современный цифровой стандарт GSM-R [1]. Одним из наиболее важных этапов проектирования сети GSM-R, является определение оптимального, по критерию минимальной стоимости, расположения базовых станций

(БС), с учетом повышенных требований к надежности сетей технологической радиосвязи [3].

**Постановка проблемы.** Исходными данными для решения задачи определения оптимального, по критерию минимальной стоимости, расположения БС [4] являются результаты прогноза потерь радиосигнала на трассах распространения. Существующие методы прогнозирования потерь при распространении имеют погрешность, что вызывает необходимость введения дополнительных коэффициентов затухания, для обеспечения заданной вероятности непревышения максимально - допустимого ослабления сигнала. Это приводит уменьшению прогнозируемой дальности радиосвязи, что значительно увеличивает стоимость сети, за счет увеличения необходимого количества БС [4]. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о актуальности разработки метода оценки влияния погрешности прогнозирования ослабления радиосигнала при распространении, на стоимость получаемых конфигураций подсистемы БС сети стандарта GSM-R.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Изучение отечественных и зарубежных источников, посвященных данной тематике, показал отсутствие на сегодняшний день публикаций, касающихся методов оценки влияния погрешности прогнозирования ослабления радиосигнала при распространении, на стоимость получаемых конфигураций подсистемы БС сети GSM-R.

В работе [4], выполнен анализ задачи синтеза сети технологической радиосвязи стандарта GSM-R, показано что основным способом уменьшения материальных затрат является определение оптимальных мест установки БС. В литературе [2,3] изложены методы оценки зон обслуживания БС, которые включают и рекомендации к методикам прогнозирования ослабления радиосигнала на различных трассах распространения.

**Цель статьи.** Разработка приближенного метода оценки влияния погрешности прогнозирования потерь, при распространении радиосигнала, на стоимость получаемых решений расположения БС сети GSM-R.

**Основной материал исследования.** Одной из отличительных особенностей сетей ЖТР, является то, что все возможные места установки БС, как правило, находятся на станциях и других железнодорожных объектах. Запишем все возможные места установки БС в виде множества  $S_{БС} = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , размера  $n$ . Другой особенностью сетей ЖТР стандарта GSM-R, в отличие от сетей GSM общего назначения, является необходимость обеспечения заданного качества связи только на

территории железнодорожных станций и вдоль перегонов. Разбив всю площадь, на которой необходимо обеспечить заданное качество связи, на элементарные участки необходимого покрытия (ЭУНП), радиуса  $R_{el}$ , в пределах которых ослабление сигнала от БС не может значительно измениться, получим множество  $D_{\Pi} = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ .

Высокие требования к надежности сетей ЖТР, вызывают необходимость применения резервирования оборудования и радиоканала. В качестве показателя степени резервирования радиоканала целесообразно использование вектора:

$$Kd = \{k_{d1}, k_{d2}, \dots, k_{dm}\}, \quad (1)$$

где  $kd_j$ - количество БС с возможностью организации радиоканала заданного качества к ЭУНП  $d_j$ .

$$Kd = \left\{ \sum_{i=1}^n Cv(i,1), \sum_{i=1}^n Cv(i,2), \dots, \sum_{i=1}^n Cv(i,m) \right\}, \quad (2)$$

где  $Cv$  - матрица покрытия, элемент  $Cv(i,j)$  которой равен единице, если возможно организовать двухсторонний радиоканал, с заданным качеством, от  $i$ -той БС к  $j$ -тому ЭУНП, и 0 в другом случае [4]:

$$Cv(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } Ps_{(i,j)} \geq P_{mind} \text{ и } Pd_{(i,j)} \geq P_{mins}; \\ 0, & \text{если } Ps_{(i,j)} < P_{mind} \text{ и / или } Pd_{(i,j)} < P_{mins}; \end{cases} \quad (3)$$

где  $P_{mins}$  – минимально допустимый уровень сигнала (в дБм) на входе приемника БС;

$P_{mind}$  – минимально допустимый уровень сигнала (в дБм) на входе приемника МС;

$Ps$  - матрица значений уровня сигнала в ЭУНП  $d_i$  от БС  $s_i$ ;

$Pd$  - матрица значений уровня сигнала на входе БС  $s_i$  от МС, которая находится в ЭУНП  $d_i$ .

$$Ps(i, j) = P_{BCi} + Ka_{BC}(i, j) + Ka_{MC}(i, j) - L_{BCi} - L_{MCi} - Lp(i, j) \quad (4)$$

$$Pd(i, j) = P_{MCj} + Ka_{BC}(i, j) + Ka_{MC}(i, j) - L_{BCi} - L_{MCi} - Lp(i, j) \quad (5)$$

где  $Lp(i,j)$  - матрица потерь, каждый элемент которой соответствует прогнозируемому значению потерь (дБ) на трассе распространения между  $i$ -той БС  $s_i$  и  $j$ -той ЭУНП  $d_j$ ;

$P_{BCi}$  - исходная мощность (в дБм) БС  $s_i$  ;

$P_{MCi}$  - исходная мощность МС (в дБм), которая находится в ЭУНП  $d_i$ ;

$L_{BCi}$  - величина затухания в фидере БС (дБ);

$L_{MCi}$  - величина затухания в фидере МС (дБ);

$K_{aBC}(i,j)$ , - коэффициент усиления антенн БС  $s_i$ , в направлении к  $j$ -той ЭУНП  $d_j$  (дБи);

$K_{aMC}(i,j)$  - коэффициент усиления антенн МС, которая находится в ЭУНП  $d_j$  в направлении к БС  $s_i$  (дБи).

Критерием обеспечения заданной степени резервирования радиоканала является выполнения следующего неравенства:

$$Kd(i) \geq a_{\min}; \quad i = 1, \dots, k, \quad (6)$$

где  $a_{\min}$  - параметр, который характеризует необходимую степень резервирования радиоканала.

Условием обеспечения возможности организации двухсторонней радиосвязи, между  $i$ -той БС и МС находящейся в  $j$ -том ЭУНП, является выполнение условия 1 в выражении (3), что равносильно одновременному выполнению следующих неравенств:

$$P_{BCi} + Ka_{BC}(i, j) + Ka_{MC}(i, j) - L_{BCi} - L_{MCi} - Lp(i, j) \geq P_{\min d}, \quad (7)$$

$$P_{MCj} + Ka_{BC}(i, j) + Ka_{MC}(i, j) - L_{BCi} - L_{MCi} - Lp(i, j) \geq P_{\min s}. \quad (8)$$

Если выполняется условие сбалансированности радиоканалов от БС к МС, и в обратном направлении:

$$P_{BCi} - P_{\min d} = P_{MCj} - P_{\min s}, \quad (9)$$

то условием обеспечения возможности организации двухсторонней радиосвязи будет неравенство:

$$Lp(i, j) \leq L_{\max ij}, \quad (10)$$

где  $L_{max\ ij}$  – максимально допустимое ослабление радиосигнала на трассе распространения между  $i$ -той БС и МС находящейся в  $j$ -том ЭУНП.

Существующие статистические методы расчета ослабления радиосигнала на трассе распространения [2,3] позволяют прогнозировать его медианное значение, что соответствует вероятности  $\rho=0,5$  непревышения полученного значения ослабление радиосигнала. Для увеличения вероятности  $\rho$ , необходимо введение запаса  $L_d$  на медленные замирания (МЗ). Если в качестве единиц измерения использовать дБ, то МЗ имеют нормальный закон распределения [2,3,6], со среднеквадратичным отклонением  $\sigma_p$ . Величину запаса  $L_d$  можно определить следующим образом:

$$L_d = \alpha \cdot \sigma_p, \quad (11)$$

где  $\alpha$  – коэффициент (таблица 1), определяемый с помощью нормированной функции обратного нормального распределения, и зависящий от значения вероятности  $\rho$ .

Таблица 1 - Значение коэффициента  $\alpha$  для разных вероятностей  $\rho$

$\rho$	0,5	0,9	0,92	0,95	0,98	0,99
$\alpha$	0	1,28	1,4	1,65	2,05	2,32

Влияние величины  $\sigma_p$  на точность получаемых решений поиска расположения БС, можно определить как отношение математического ожидания необходимого количества БС  $n'_{BC}$  в конфигурации сети  $X'$  с учетом введенного запаса  $L_d$  на МЗ ( $p_s = 0,95$ ), к математическому ожиданию количества БС  $n''_{BC}$  в конфигурации сети  $X''$ , без учета МЗ:

$$\mu(\sigma_p, p_s) = \frac{M[n_{BC}(X'(\rho = p_s))]}{M[n_{BC}(X''(\rho = 0,5))]} \quad (12)$$

Плотность распределения вероятности  $\xi()$  количества БС в полученной конфигурации [5]:

$$\xi(n_{BC}, q_d, m, a_{\min}) = \left(1 - \sum_{i=0}^{a_{\min}-1} Bnm(i, n_{bc}, q_d)\right)^m - \left(1 - \sum_{i=0}^{a_{\min}-1} Bnm(i, (n_{bc} - 1), q_d)\right)^m, \quad (13)$$

где  $Bnm(i, n, q)$  - функция биномиального распределения ( $i$  – количество успехов в серии с  $n$  испытаний, с достоверностью успеха  $q$  в каждом испытании);

$q_d$  – вероятность организации радиоканала от случайно выбранной БС к случайному ЭУНП.

Влияние значения среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  МЗ на вероятность  $q_d$  организации радиоканала, случайной БС к случайной ЭУНП:

$$q_d(\sigma_p, p_s) = \frac{n_p \cdot R(P_{\min d}, P_{BC}, Ka_{BC}, Ka_{MC}, \sigma_p, p_s)}{m \cdot R_{el}}, \quad (14)$$

где  $n_p$  – количество путей следования со станции, на которой возможна установка БС;

$R(P_{\min d}, P_{BC}, Ka_{BC}, Ka_{MC}, \sigma, \rho)$  - максимальная дальность радиосвязи.

С учетом этого, влияние погрешности прогнозирования потерь при распространении радиосигнала, на точность получаемых решений поиска расположения БС, можно записать следующим образом:

$$\mu(\sigma_p, p_s) = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} i \cdot \xi(i, q_d(p_s), m, a_{\min})}{\sum_{i=0}^{\infty} i \cdot \xi(i, q_d(0,5), m, a_{\min})}, \quad (15)$$

При использовании метода Окамури-Хата, рекомендованного для проведения оценки дальности радиосвязи сетей стандарта GSM-R [1], медианное значение ослабления сигнала определяется по формуле [3]:

$$L_r = 69,55 + 26,16 \cdot \log f - 13,82 \cdot \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \cdot \log h_b) \cdot \log R, \quad (16)$$

где  $f$  – частота, МГц;

$h_b$  – высота подвеса антенны БС;

$h_m$  – высота подвеса антенны МС;

$R$  – расстояние между БС и МС.

В этом случае максимальную дальность радиосвязи можно оценить следующим образом:

$$R(P_{\min d}, \sigma, \rho) = 10^{\left( \frac{P_{\min d} - P_{\text{БС}} - K a_{\text{БС}} - K a_{\text{МС}} + S - L d(\sigma, \rho) - 69,55 - 26,16 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(h_1) - a(h_2)}{44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_1)} \right)} \quad (17)$$

Используя выражения (15),(14),(17) получена зависимость влияния среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  МЗ, на точность  $\mu$  метода определения оптимальных мест установления БС, для разных уровней вероятности  $p_s$  обеспечение минимального уровня сигнала  $P_{\min}$  (рисунок 1).

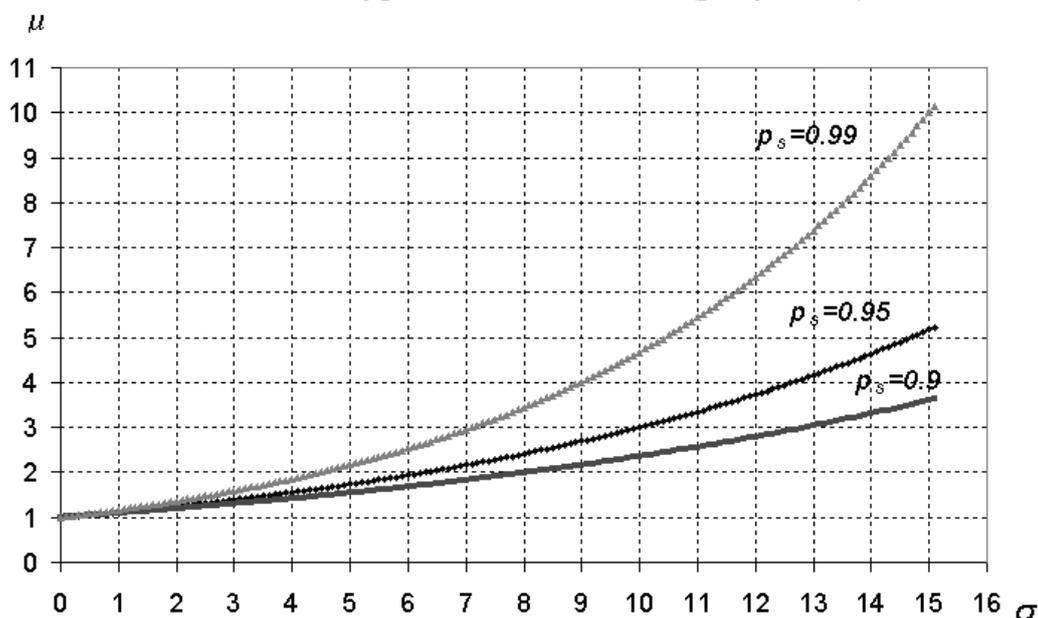


Рисунок 1 - Зависимость влияния среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  МЗ, на точность получаемых решений поиска расположения БС  $\mu$ .

**Вывод.** В работе предложен метод оценки влияния погрешности прогнозирования потерь, при распространении радиосигнала, на точность получаемых решений расположения базовых станций сети GSM-R. Что позволяет проводить сравнительный анализ разных методик прогнозирования потерь при распространении радиосигнала, и определять степень их влияния на эффективность частотно-территориального планирования.

Результаты оценки точности метода Окамури-Хата показали, что его применение, при высоких требованиях к вероятности обеспечения минимального уровня сигнала (0.95 – 0.99), приводит к значительному (2-

3 раза) увеличению количества БС, что существенно увеличивает стоимость сети GSM-R.

### *Список литературы*

1. CLA111D004 European Integrated Railway Radio Enhanced Network. System Requirements Specification. 2003. 131 с.
2. ETSI TR 101 362 v8.4.0 Radio network planning aspects. 1999.
3. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. –М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 224 с.
4. Книгавко Н.В., Саенко А.С. Метод синтеза оптимальной конфигурации сети технологической радиосвязи стандарта GSM-R // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. –2008. -№3. –С.13.
5. Саенко А.С. Анализ “случайного” метода формирования начальной популяции, для генетического алгоритма в задаче оптимального размещения базовых станций сети стандарта GSM-R Сб.научных трудов. – Донецк, ДонИЖТ, 2008. – Вып. 15 . –С 44.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. Изд. 7-е. – М.: Высш. шк., 1999. – 479 с.

**УДК 681.3:355.4**

*Андрощук О.С., к.т.н, доцент (Національна академія  
Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького)*

## **РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ПОДАННЯ ЗНАНЬ ПРО ОСОБЛИВІ СИТУАЦІЇ НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЇ**

**Постановка проблеми.** Удосконалення інтегрованої інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) Державної прикордонної служби України (ДПСУ) передбачає застосування досягнень у галузі сучасних інформаційних технологій [1]. Це, у першу чергу, стосується такого напрямку як управління знаннями, що стає важливим видом діяльності сучасних установ (організацій). Для цього розробляються спеціальні системи управління знаннями, які є подальшим розвитком