

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Саєнко Олександр Сергійович

УДК 656.254.16:621.396.931

**МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ЧАСТОТНО-ТЕРИТОРІАЛЬНОГО
ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ СТАНДАРТУ GSM-R**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській Державній академії залізничного транспорту на кафедрі “Транспортний зв’язок”, Міністерство транспорту та зв’язку України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент

Книгавко Микола Володимирович, Українська Державна академія залізничного транспорту, доцент кафедри “Транспортний зв’язок”.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Кузнецов Олександр Олександрович, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, начальник інформаційно-обчислювального центру;

кандидат технічних наук, доцент

Москалець Микола Вадимович, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри “Телекомунікаційні системи”.

Захист відбудеться «_____» _____ 2009 р. о _____ год на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розіслано «_____» _____ 2009 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 _____ С.І. Приходько

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Системи залізничного технологічного радіозв'язку (ЗТР) відіграють значну роль у здійсненні залізничних перевезень, як засіб оперативного управління перевізним процесом, забезпечення безпеки руху, контролю стану залізничних пристроїв, організації та здійснення технологічних процесів. Процес інтеграції транспортної системи України до Європи неможливий без впровадження ЗТР стандарту GSM-R, який рекомендовано Міжнародним союзом залізниць до використання на європейських залізницях. Тому будівництво мережі GSM-R є одним з стратегічних напрямків розвитку Укрзалізниці (УЗ).

В той ж час, діючі правила організації та розрахунку мереж ЗТР УЗ не містять рекомендацій щодо планування цифрових радіомереж, а специфікація, що описує стандарт GSM-R, несе лише загальну інформацію, недостатню для частотно-територіального планування (ЧТП) мереж цього стандарту. Існуючі методи ЧТП мереж стандарту GSM загального користування не враховують специфіку ЗТР, що при їхньому використанні для проектування мереж GSM-R, може призвести до невиконання заданих показників якості або значно збільшити вартість проекрованої мережі. Це вимагає вдосконалення існуючих та розробки нових методів рішення окремих розрахункових етапів ЧТП, що й обумовлює актуальність теми дисертації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тактико-технічних завдань науково-дослідних робіт “Дослідження та визначення методів та засобів радіомоніторингу на залізницях України” (№ ДР 0107U007062), “Правила організації та розрахунку мереж поїздного радіозв'язку” (№ ДР 0107U007063), а також “Дослідження існуючих видів дуплексного радіозв'язку з метою визначення системи радіозв'язку прийнятної для впровадження на залізничному транспорті України”(№ ДР 0109U001518), які виконувалися на кафедрі "Транспортний зв'язок" Української державної академії залізничного транспорту, відповідно до Державної програми реформування залізничного транспорту на 2008-2015 роки, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р. Також перехід до цифрових систем технологічного зв'язку намічено в наступних документах: Концепція Національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого в 1998р. № 75/98-ВР; Концепція розвитку зв'язку України до 2010 року, затверджена постановою Кабінету Міністрів України «Про Концепцію розвитку зв'язку України до 2010 року» у від 9 грудня 1999 р. №2238 ; Концепція створення Державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 липня 2003 р. № 410-р.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є зменшення матеріальних витрат при впровадженні мереж ЗТР стандарту GSM-R, завдяки застосуванню методу ЧТП, який дозволяє одержувати оптимальні, за критерієм мінімальної вартості, конфігурації мережі, забезпечуючи при цьому задані якісні показники.

Науковим завданням дослідження є розробка методу ЧТП мереж ЗТР стандарту GSM-R, який дозволяє одержувати оптимальні за критерієм мінімальної вартості, конфігурації мережі, забезпечуючи при цьому задані якісні показники.

Складність досягнення поставленої мети полягає у відсутності універсального методу ЧТП та недостатності досвіду проектування і експлуатації цифрових мереж ЗТР в умовах інфраструктури залізниць України.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні часткові завдання:

1. Формалізувати задачу ЧТП мережі ЗТР стандарту GSM-R у вигляді задачі оптимізації за критерієм мінімальної вартості, та обмеженнями, заданими потрібними якісними показниками.

2. Визначити метод прогнозування ослаблення сигналу на трасі розповсюдження, що є найбільш придатний для застосування у процесі ЧТП мереж ЗТР стандарту GSM-R в умовах інфраструктури залізниць України.

3. Розробити метод оцінки впливу похибки прогнозування ослаблення радіосигналу при розповсюдженні, на кількість потрібних базових станцій (БС) мережі GSM-R.

4. Розробити метод формування груп частотних присвоєнь стільникам мережі ЗТР стандарту GSM-R для забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС).

5. Розробити метод пошуку оптимальних, за критерієм мінімальних матеріальних витрат, місць встановлення БС мережі ЗТР стандарту GSM-R.

Об'єкт дослідження. Процес частотно-територіального планування мереж залізничного технологічного радіозв'язку стандарту GSM-R.

Предмет дослідження. Метод автоматизованого частотно-територіального планування мереж залізничного технологічного радіозв'язку стандарту GSM-R, який дозволяє одержувати оптимальні, за критерієм мінімальних матеріальних витрат, конфігурації мережі, забезпечуючи при цьому задані якісні показники.

Методи дослідження. При формалізації задачі ЧТП мережі GSM-R використовувалися методи теорії множин, теорії електричного зв'язку, теорії ймовірностей, теорії дискретної оптимізації. При розробці методу формування груп частотних присвоєнь БС мережі GSM-R використано методи комбінаторики, елементи теорії графів, методи операційного числення, імітаційного моделювання з використанням ЕОМ. При розробці методу пошуку оптимальних місць встановлення БС використовувалися методи теорії генетичних алгоритмів, методи імітаційного моделювання з використанням ЕОМ. Методи математичної статистики використані при обробці результатів експериментальних досліджень.

Наукова новизна положень, розроблених особисто здобувачем:

1. **Вперше розроблено** метод автоматизованого пошуку оптимального варіанту розміщення БС мережі GSM-R з використанням генетичного алгоритму, що відрізняється від відомих введень додаткового оператора “відновлення”, який дозволив забезпечити одержання припустимих конфігурацій мережі після операцій кросинговеру і мутації за рахунок використання локальної оптимізації параметрів стільників, а також запропонованою евристичною процедурою формування початкової популяції, яка враховує територіальний розподіл прогнозованого ослаблення сигналу від кожної БС на місцевості. Це дозволило знизити вартість одержуваних конфігурацій проекрованої мережі GSM-R, а також зменшити час пошуку рішення.

2. **Вперше розроблено** метод оцінки впливу похибки прогнозування ослаблення сигналу на трасі розповсюдження, на точність одержуваних рішень розташування БС мережі GSM-R, який відрізняється від відомих, імовірнісним описом очікуваної кількості потрібних БС. Це дозволяє приводити порівняльний аналіз різних методик прогнозування ослаблення радіосигналу на трасі розповсюдження, та визначати ступінь їхнього впливу на ефективність ЧТП мереж рухомого радіозв'язку, що мають лінійну форму зон обслуговування та нерегулярну стільникову структуру.

3. **Одержав подальший розвиток** метод формування груп частотних присвоєнь БС мережі GSM-R, який відрізняється від відомих комплексним застосуванням евристичного та випадкового методів пошуку рішення, що дозволяє збільшити імовірність отримання рішень з мінімальним числом потрібних частотних каналів, при прийнятному часу пошуку рішення.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в наступному:

1. Розроблений метод ЧТП мереж стандарту GSM-R дозволяє зменшити матеріальні витрати на будівництво проекрованої мережі, завдяки застосуванню пошуку оптимального розміщення БС. За результатами моделювання на ЕОМ зменшення вартості будівництва проекрованої мережі у середньому складає 9,3%.

2. Розширено область застосування метода Окамури-Хата прогнозування ослаблення радіосигналу на трасі розповсюдження, за рахунок введення додаткових коефіцієнтів ослаблення, обумовлених впливом інфраструктури залізниці, визначених експериментально. Це дозволяє застосувати його для прогнозування зон обслуговування БС на частоті 900 МГц, в умовах інфраструктури залізниці.

3. Експериментально визначено мінімально-припустиме значення відношення сигнал/завада за основним та сусіднім каналами прийому, для мережі GSM-R, за умови забезпечення складової розбірливості мови не менш 80%, з імовірністю 0,95, що склали 14 дБ і -2 дБ відповідно. Це дозволяє враховувати жорсткі вимоги до якості роботи систем ЗТР при ЧТП мереж стандарту GSM-R.

4. Розроблений метод формування груп частотних присвоєнь стільникам мережі GSM-R, дозволяє зменшити кількість необхідних частотних каналів, забезпечуючи при цьому ЕМС. За результатами моделювання на ЕОМ зменшення кількості необхідних частотних каналів в порівнянні з рішенням отриманим методом найшвидшого спуску складає 20%, у більш ніж 90% випадків.

Вищевикладені пункти є складовими методу ЧТП мереж стандарту GSM-R, реалізація якого у вигляді програмного забезпечення, дозволяє автоматизувати процес планування мереж даного стандарту, забезпечуючи при цьому жорсткі вимоги до надійності та якості роботи систем ЗТР.

Отримані науково-практичні результати використовуються у навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту (підтверджено актом впровадження УкрДАЗТ від 19.11.2008), та на виробництві при виконанні робіт по покращенню якості покриття мережі GSM на основних залізничних напрямках, оператора мобільного зв'язку “Український мобільний зв'язок” (акт впровадження ЗАТ “УМЗ” від 4.12.2008).

Особистий вклад здобувача. Усі положення і результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 8 наукових статтях, опублікованих у наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України. У наукових статтях, що опубліковані у співавторстві здобувачу належить: в роботі [1], формалізація задачі та розробка методу автоматизованого пошуку оптимального розташування БС мережі GSM-R, побудованого на принципах генетичного алгоритму; у роботі [2] виконано експериментальне дослідження, розроблено рекомендації щодо застосування статистичних методів прогнозування втрат при розповсюдженні радіосигналу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися та були схвалені на наступних науково-технічних конференціях: 21-ша міжнародна науково-практична конференція „Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України” (Алушта, 2008 р.); 9 Міжнародний форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харків, 2005 р.); 12 Міжнародний форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харків, 2008 р.); 70-я міжнародна науково-практична конференція кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту (Харків, 2008 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 8 наукових статтях у фахових виданнях, затверджених ВАК України, та трьох тезах доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст роботи викладено на 169 сторінках, з них і включає, 33 рисунки, 9 таблиць, список використаних джерел із 119 найменувань на 11 сторінках та два додатка на 8 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, формулюється мета дисертаційної роботи, вказується наукова новизна, практичне значення та впровадження отриманих результатів. Наведено дані про особистий внесок здобувача, а також публікації за темою дисертаційної роботи.

У першому розділі зроблено аналіз діючих правил організації та розрахунку мереж ЗТР в діапазонах 2; 150 і 330 МГц, який показав неможливість їх використання для планування мереж стандарту GSM-R, за причиною відсутності: методики прогнозування ослаблення радіосигналу частотою 900 МГц на трасі розповсюдження; рекомендацій щодо пошуку оптимальних місць встановлення БС та визначення їх конфігурації; методики формування груп частотних присвоєнь передавачам БС для забезпечення ЕМС. Питаннями ЧТП мереж ЗТР у діапазонах частот 2, 150, 330 МГц займалися: Ю. В. Ваванов, Е.З. Головін, О. В. Єлізаренко, В. И. Зиков, А.М. Веріго, Ю. Я. Мемерсон, К. К. Алмазян, А. Ф. Фомін та інші.

Аналіз специфікації стандарту GSM-R показав, що вона несе лише загальну інформацію, рекомендації з ЧТП мають поверхневий характер, недостатній для виконання проектування мереж цього стандарту. Аналіз вітчизняних та закордонних джерел, присвячених даній тематиці, показав наявність численних публікацій присвячених ЧТП мереж GSM загального користування, але невелику кількість робіт стосовно мереж стандарту GSM-R. Серед цих робіт слід відзначити праці Д.М. Росенкова, Д. Ю. Юрченко, Е. Sauthier, К. Kastell, S. Bug.

Зроблено висновок про актуальність розробки автоматизованого методу ЧТП мереж стандарту GSM-R, який дозволить врахувати специфіку побудови, жорсткі вимоги до надійності та якості роботи систем ЗТР, та одночасно зменшити матеріальні витрати на будівництво та експлуатацію.

У другому розділі проведена формалізація задачі ЧТП мережі GSM-R, яка полягає в знаходженні такої конфігурації мережі X , що володіє значенням сукупності показників якості $K(X)$, кожен з яких не гірше мінімально припустимого значення $K(X) \geq K_{\min}$, та при цьому X має мінімальні матеріальні витрати M_v на будівництво мережі, $M_v \rightarrow \min$. Поставлена задача є задачею оптимізації з обмеженнями, де цільова функція $M_v(X) \rightarrow \min$, а вектор обмежень $K(X) \geq K_{\min}$.

Для визначення шляхів зменшення матеріальних витрат M_v на будівництво мережі GSM-R на етапі ЧТП, зроблено аналіз її складових підсистем та впливу їхньої конфігурації на загальну вартість системи. Зроблено висновок, що основним способом зменшення M_v є визначення оптимальних місць встановлення БС, які можуть бути розміщені лише на станціях та інших залізничних об'єктах. Також важливою особливістю GSM-R є необхідність забезпечення заданих показників якості K_{\min} лише на території залізничних станцій і вздовж перегонів, що дозволяє представити вхідні дані у дискретному вигляді - множини $S_{\text{БС}} = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, яка складається з n всіх можливих місць встановлення БС, та множини $D_{\text{ЕДНП}} = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$, яка складається з m елементарних ділянок необхідного покриття (ЕДНП) радіусу R_{el} , в межах якого рівень сигналу від БС не може значно змінитися.

На основі нормативних документів та відомих теоретичних положень зроблено аналіз основних показників та критеріїв якості, що висуваються до мереж ЗТР, та шляхів їх забезпечення. Зроблено наступні висновки:

1. Надійність системи радіозв'язку характеризується коефіцієнтом готовності мережі K_r , на який, стосовно підсистеми БС, головним чином впливають: імовірність p_{lev} забезпечення необхідного рівню сигналу P_{min} , імовірність безвідмовної роботи обладнання БС p_{bs} , кратність резервування k_{di} та час відновлення системи. Імовірність p_{ms} організації радіоканалу до абонента, який знаходиться зоні обслуговування ЕДНП:

$$p_{ms} = \frac{\sum_{i=1}^m (1 - (1 - p_{lev} \cdot p_{bs})^{k_{di}})}{m}. \quad (1)$$

Оскільки до надійності мереж ЗТР пред'являються особливі вимоги ($K_r \geq 0,9995$), виникає необхідність застосування резервування обладнання та радіоканалу. В якості показника ступеню резервування радіоканалу доцільне використання вектора:

$$Kd = \{kd_1, kd_2, \dots, kd_m\} = \left[\sum_{i=1}^n Cv(i,1), \sum_{i=1}^n Cv(i,2), \dots, \sum_{i=1}^n Cv(i,m) \right], \quad (2)$$

де kd_j - кількість БС з можливістю організації радіоканалу заданої якості до ЕДНП d_j ; Cv - матриця покриття, елемент $Cv(i,j)$ якої буде дорівнювати 1, якщо можливо організувати радіоканал від i -тої БС до j -тої ЕДНП, та 0 в іншому випадку:

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

де P_{mins} – мінімально припустимий рівень сигналу (дБм) на вході приймача БС; P_{mind} – мінімально припустимий рівень сигналу на вході приймача МС; Ps – матриця значень рівню сигналу в ЕДНП d_i від БС s_i ; Pd - матриця значень рівню сигналу на вході БС s_i від МС, яка знаходиться у ЕДНП d_i :

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

$$Pd(i,j) = P_{MC_j} + Ka_{BC}(i,j) + Ka_{MC}(i,j) - L_{BC_i} - Lp(i,j); \quad (5)$$

де \mathbf{Lp} - матриця втрат, кожен елемент якої відповідає прогнозованому значенню втрат при поширенні сигналу між i -тою БС s_j та j -тою ЕДНП d_j ; P_{BCi} - вихідна потужність БС s_i (дБм); P_{MCi} - вихідна потужність МС, яка знаходиться у ЕДНП d_i ; L_{BCi} - величина загасання у фідері БС (дБ); $Ka_{BC}(i,j)$, $Ka_{MC}(i,j)$ - коефіцієнти посилення антен БС s_i , в напрямку до j -тої ЕДНП d_j , та МС, яка знаходиться у ЕДНП d_i в напрямку до БС s_i (дБі).

Критерієм забезпечення заданої кратності резервування радіоканалу є виконання наступної нерівності:

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

де a_{\min} - параметр, що характеризує необхідну кратність резервування радіоканалу.

2. Для забезпечення імовірності відмови внаслідок зайнятості каналів p_{BK} не вище припустимого значення, можна скористатися відомими моделями з теорії масового обслуговування, для визначення потрібної кількості радіоканалів n_{CH} кожного стільника мережі ЗТР.

3. Складова розбірливість мови (СРМ) залежить від рівня бітових помилок у каналі зв'язку, на який впливають внутрішньосистемні (ВСЗ) та міжсистемні завади (МСЗ). Це вимагає проведення дослідження впливу різних типів завад на СРМ мережі стандарту GSM-R. Забезпечення рівню ВСЗ та МСЗ не вище максимально припустимих значень, виконується за допомогою процедури призначення частот передавачам БС, при цьому кількість потрібних частот N_f повинна не перевищувати кількість частотних каналів N_{fGSM-R} , виділених для мереж GSM-R:

$$N_f(\mathcal{S}) \leq N_{f_{GSM-R}} = 18. \quad (7)$$

Згідно з вищевикладеним, задачу ЧТП мережі GSM-R можна представити наступним формулюванням: необхідно знайти підмножину БС S' , що входить до множини $S_{\text{БС}}$, та конфігурацію кожної БС cnf_i , за умов виконання (6) та (7), при цьому сумарна вартість підсистеми БС мережі $M_{\text{ПБС}}$, повинна бути мінімальною:

$$\min_{\mathbf{s}} \sum_{i=1}^n M_{\delta c}(cnf_i) \cdot s_i \quad \left| \quad Kd(i) \geq a_{\min}; N_f(S) \leq N_{f_{max}}, s_i \in \{0,1\}, cnf_i \in Cf_{BC}, j = \overline{1, n} \right., \quad (8)$$

де $M_{bc}(cnf_i)$ - вартість БС у конфігурації cnf_i , Cf_{bc} - множина можливих конфігурацій БС.

Аналіз сформульованої задачі показує, що вона відноситься до задач дискретної оптимізації про багатократне покриття множин з додатковими обмеженнями. З теорії відомо, що ця задача є NP - повною. Більш того, додаткове обмеження (7) значно ускладнює пошук рішення, оскільки знаходження функції $N_f(S)$ відноситься до класу задач розфарбування зваженого графу найменшим числом кольорів, що також є NP - повною задачею. Аналіз розміру простору пошуку рішень, дозволяє зробити висновок про практичну неможливість розв'язання поставленої задачі точними методами за розумний час. Отже єдиним шляхом до вирішення даної задачі є застосування наближених методів пошуку рішення. З іншого боку, особливості побудови мереж ЗТР дозволяють знайти шляхи до спрощення розглянутої задачі, а саме пропонуються наступні заходи:

1. Попереднє знаходження конфігурацій БС cnf_i , що є близькими до оптимальних, з подальшим їх уточненням у процесі роботи основного циклу пошуку рішення. Тобто, для кожної потенційної БС, знаходиться кількість антен - q_i , їх тип - Ant , а також азимути напрямку φ_r та кути вертикального нахилу φ_v , для організації радіоканалу до максимальній кількості ЕДНП d_i :

$$\max_{\mathbf{p}} \sum d_i |K(\text{Ant}, (\varphi_{G(i,p)} - \varphi_{A(i,j)}), (\varphi_{V(i,p)} - \varphi_{H(i,j)})) \geq P_{\min} - P_{A_i} + L_{\phi_i} + L_{p(i,j)}; \mathbf{p} = \overline{\mathbf{1}, \mathbf{q}}|, \quad (9)$$

де $\varphi_{A(i,j)}$ - азимут напрямку, $\varphi_{H(i,j)}$ - кут нахилу від i -тої БС s_i до j -тої ЕДНП d_j .

Аналіз простору пошуку рішення цієї підзадачі показує, що вона може бути вирішена досить швидко, навіть методом прямого перебору.

2. Залучення знайдених конфігурацій, у якості вхідних даних, до пошуку множини можливих рішень розташування БС, з використанням локальної оптимізації конфігурації БС. Пошук при цьому здійснюється за функціоналом (8) з виключенням обмеження (7).

3. Здійснення присвоєння частот передавачам БС (частотне планування мережі) після знаходження множини рішень їх можливого розташування, відсортованих у порядку зменшення значення матеріальних витрат. У разі якщо кількість потрібних частотних каналів, перевищує число каналів виділених для GSM-R, обирається наступне можливе рішення.

На підставі розглянутого вище підходу, виділено перелік задач що потребують вирішення:

- задача прогнозування втрат радіосигналу на трасі поширення між i - тою БС _{i} та j - тою ЕДНП множини $D_{П}$, та оцінка впливу похибки прогнозу на точність одержуваних рішень;
- задача пошуку оптимального розташування БС, для забезпечення заданої структурної надійності мережі за критерієм мінімальних витрат;
- задача формування груп частотних присвоєнь передавачам БС для забезпечення ЕМС з урахуванням вимог до якості мереж ЗТР.

Третій розділ присвячено аналізу методів прогнозування втрат радіосигналу на трасі розповсюдження. Для цього було проведене експериментальне дослідження з використанням записів рівню сигналів від БС існуючої стільникової мережі стандарту GSM-900 загального користування, зроблених вимірвальним комплексом встановленим у вагоні-лабораторії зв'язку. Після обробки результатів отримані статистичні характеристики швидких і повільних завмирань (ПЗ) (таблиця 2), а також графіки медіанного значення рівня сигналу від БС уздовж залізничного перегону. Аналіз відомих статистичних методів прогнозування втрат при розповсюдженні сигналу показав, що найбільш придатний в даному випадку, є відомий метод Окамури-Хата, який дозволив прогнозувати медіанне значення рівня сигналу з відхиленням не більш ніж 3 дБ у 80% випадків (таблиця 1). На основі емпіричних статистичних характеристик швидких завмирань сигналу в діапазоні частот 900 МГц встановлено, що їх глибина в умовах інфраструктури залізниць, не вище, ніж в моделі Релея-Райса.

Таблиця 1

Отримані значення додаткового ослаблення сигналу

Тип ділянки	Великі станції та вузли	Станції	Електрифікована ділянка	Не електрифікована Ділянка
Місто	2,4 дБ	2,2 дБ	1,8 дБ	<1 дБ
Передмістя	-	2,5 дБ	2,5 дБ	<1 дБ
Відкрита місцевість	-	-	2,7 дБ	1,3 дБ

Таблиця 2

Отримані значення стандартного відхилення σ повільних завмирань

Тип ділянки	Процент забудови	Великі станції та вузли	Станції	Електрифікована ділянка	Не електрифікована ділянка
Місто	$5\% < \alpha < 50\%$	8,3 дБ	7,6 дБ	5,8 дБ	5,6 дБ
Передмістя	$1\% < \alpha < 5\%$	-	6,2 дБ	5,5 дБ	4,9 дБ
Відкрита місцевість	$\alpha < 1\%$	-	-	4,8 дБ	4,6 дБ

Вплив похибки прогнозування втрат при розповсюдженні радіосигналу, на точність одержуваних рішень методом пошуку розташування БС, можна визначити як відношення математичного очікування потрібної кількості БС n'_{BC} в конфігурації мережі X' з врахуванням запасу на ПЗ ($p_s = 0,95$), до математичного очікування потрібної кількості БС n''_{BC} в конфігурації мережі X'' , без врахування ПЗ ($p_s = 0,5$):

$$\mu(x) = \frac{M[n_{BC}(X'(\rho = p_s))]}{M[n_{BC}(X''(\rho = 0,5))]}, \quad (10)$$

де M – математичне очікування; p_s – критерій забезпечення умови радіопокриття, у вигляді імовірності забезпечення потрібного рівня сигналу;

Одержана щільність розподілу імовірності кількості БС у конфігурації ξ :

$$\xi(n_{BC}, q_d, m, a_{\min}) = \left[1 - \sum_{i=0}^{a_{\min}-1} Bi(i, n_{bc}, q_d) \right]^m - \left[1 - \sum_{i=0}^{a_{\min}-1} Bi(i, (n_{bc} - 1), q_d) \right]^m, \quad (11)$$

де $Bi(i, n, q)$ – функція біноміального розподілу (i – кількість успіхів у серії з n випробувань, з імовірністю успіху q у кожному випробуванні); q_d – імовірність організації радіоканалу від випадково обраної БС до випадково обраної ЕДНП.

Зроблено аналіз впливу значення середньоквадратичного відхилення σ ПЗ на імовірність q_d організації радіоканалу від випадково обраної БС до випадково обраної ЕДНП, який можна оцінити наступним чином:

$$q_d = \frac{n_p \cdot R(P_{\min d}, P_{BC}, Ka_{BC}, Ka_{MC}, \sigma, \rho)}{m \cdot R_{el}}, \quad (12)$$

де n_p – кількість шляхів прямування потягів зі станції, де розташовано БС; функція $R(P_{\min d}, P_{BC}, Ka_{BC}, Ka_{MC}, \sigma, \rho)$ – являє собою максимальну дальність радіозв'язку, яка, при використанні методу Окамури-Хата, визначається наступним чином:

$$R(P_{\min d}, P_{BC}, Ka_{BC}, Ka_{MC}, \sigma, \rho) = 10^{\left[\frac{P_{\min d} - P_{BC} - Ka_{BC} - Ka_{MC} + S - K - AD - 69,55 - 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_1) - \epsilon}{44,9 - 6,55 \lg(h_1)} \right]} \quad (13)$$

Отримана залежність впливу середньоквадратичного відхилення σ ПЗ, на точність μ (у відносних одиницях) одержуваних рішень розташування БС мережі GSM-R, для різних значень імовірності p_s забезпечення потрібного рівню сигналу P_{\min} (рис.1.).

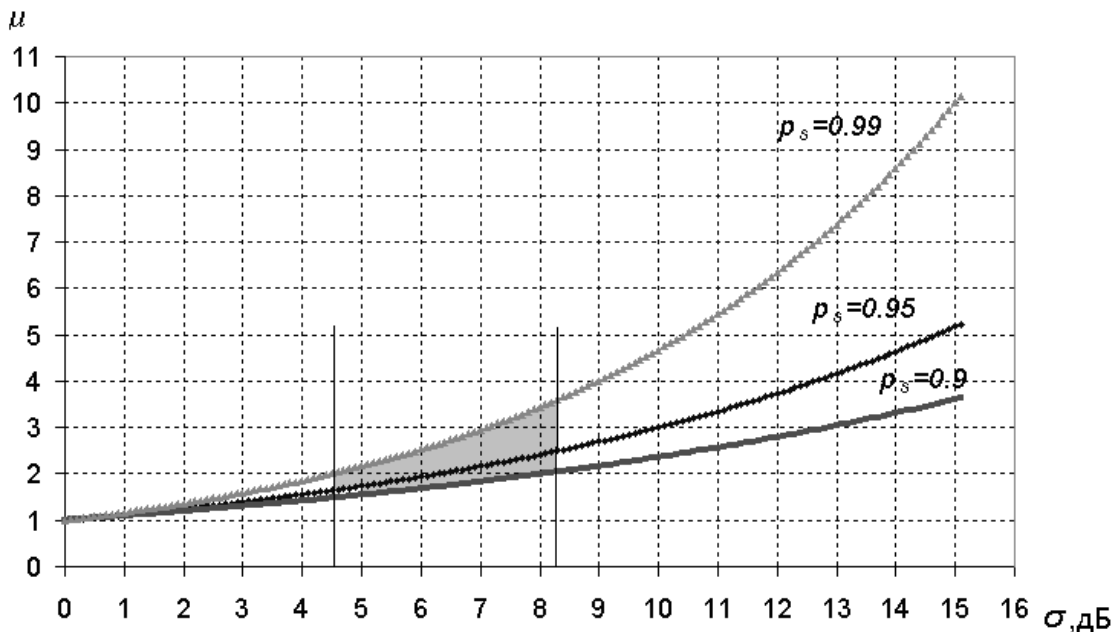


Рис. 1. Залежність впливу середньоквадратичного відхилення σ ПЗ, на точність одержуваних рішень пошуку розташування БС μ .

Результати оцінки точності методу Окамури-Хата показали, що він дозволяє здійснювати розрахунок зон покриття, та в більшості випадків дає задовільні результати, однак не враховує багатьох факторів, що мають значний вплив на результуючий сигнал у точці прийому, і може використовуватися лише при побудові початкового наближення частотно-територіально плану мережі стандарту GSM-R. Оцінка дальності зв'язку при високих вимогах до імовірності забезпечення мінімального рівня сигналу $p_s = (0,95 \div 0,99)$, призводить до значного (2-3 рази) збільшення кількості потрібних БС, що збільшує вартість мережі GSM-R.

На основі експериментальних даних, підтверджено значну кореляцію між величиною ПЗ та особливістю профілю рельєфу між БС та МС. Зроблено висновок про можливість збільшення точності прогнозування ослаблення сигналу при поширенні, за рахунок часткового прогнозування ПЗ, що стає можливим при використанні цифрових карт рельєфу місцевості. У роботі показано можливість застосування нейронної мережі для автоматизованого прогнозування величини ПЗ в залежності від профілю рельєфу місцевості. Отримані результати показали потенційну можливість зменшення кількості потрібних БС проектованої мережі GSM-R за рахунок часткового прогнозування ПЗ.

У четвертому розділі розглянуто питання забезпечення ЕМС. Проведено експериментально - теоретичне дослідження впливу завад за основним та сусіднім каналами прийому. Отримані результати (рис. 2) показали, що для стандарту GSM з використанням повношвидкісного кодексу (FR), величина мінімально-припустимого відношення сигнал/завада (C/3) за основним каналом прийому дорівнює 14 дБ, при рівні імовірності забезпечення СРМ не нижче 80% - 0,95. З урахуванням вимог до забезпечення мінімально-припустимого рівня сигналу від БС в зоні обслуговування -95 дБм, максимально-припустимий розрахунковий рівень завади за основним каналом прийому не повинен перевищувати -109 дБм та за сусіднім каналом прийому -93 дБм.

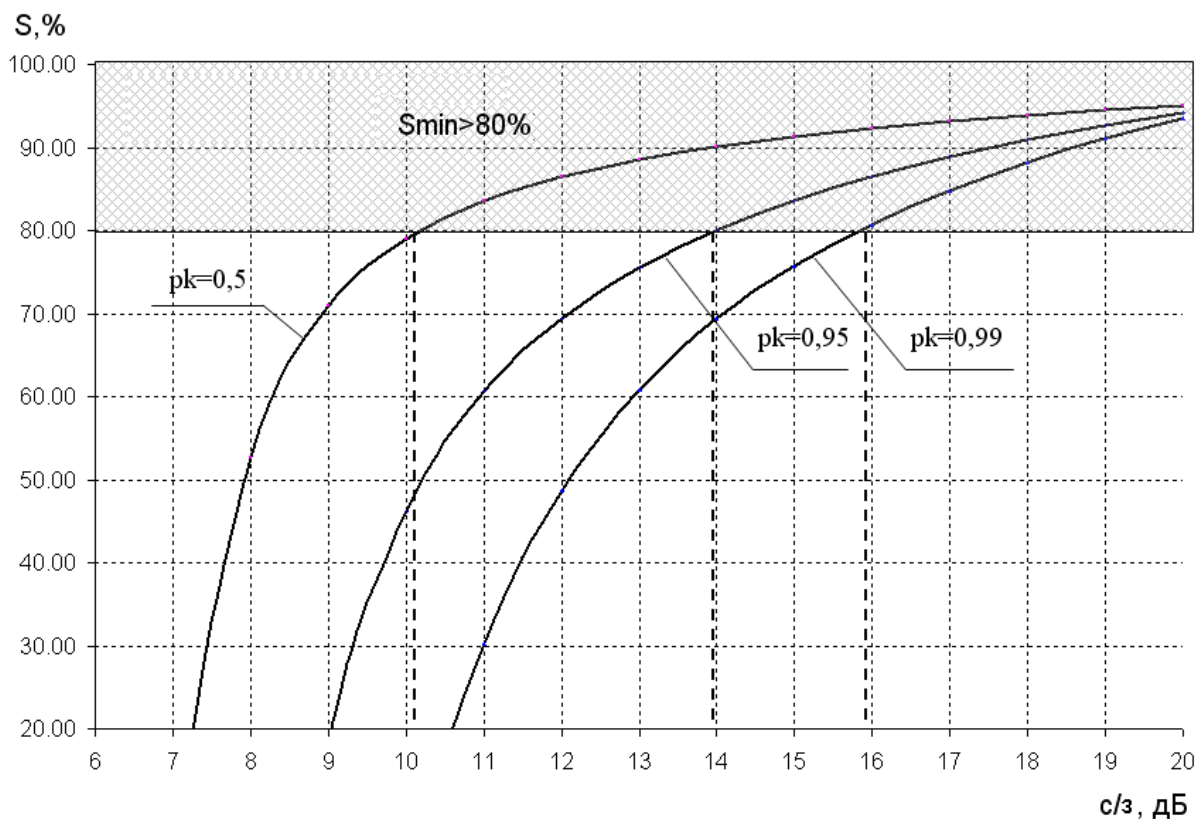


Рис. 2. Залежність СРМ S від відношення C/3 за основним каналом прийому.

Загальний вид задачі розподілу каналів у довільній неоднорідній радіомережі описується за допомогою матриці сумісності C_s розміром $n \times n$. Кожен недиагональний елемент матриці C_s представляє собою відстань мінімального рознесення в частотній області (виражену в каналах) між частотою, що присвоюється i -тому стільнику та частотою, що присвоюється j -тому стільнику мережі. Вимоги, які висуваються до кількості частот кожного стільника, описуються за допомогою n - елементного вектора, який називають вектором запиту - D_s . Елемент d_i вектора D позначає кількість частот, які повинні привласнюватися i -тому стільнику. Позначивши через f_{ik} k -ту частоту, що присвоюється i -тому стільнику, обмеження ЕМС можна записати наступним чином:

$$|f_{ik} - f_{jl}| \geq c_{ij}, \quad (14)$$

для $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, d_i$ і $l = 1, \dots, d_j$, за виключенням $i = j, k = l$.

Методи формування груп частотних присвоєнь передавачам БС стільникових мереж загального користування вирішують задачу пошуку розподілу частот, при якому середньостатистичне значення завад за основним та сусіднім каналами прийому мінімально. Однак в цьому випадку мають місце області заниженого відносно мінімального значення відношення C/N , що неприпустимо в мережах ЗТР. Виходячи з цього, був розроблений комбінований метод формування груп частотних присвоєнь передавачам БС мережі GSM-R, що поєднує в собі методи евристичного та випадкового пошуку рішення. Для збільшення імовірності знаходження рішення з мінімальною кількістю потрібних частотних каналів, використано багатократний запуск з подальшим вибором найкращого рішення. Початковий список частотних запитів формується в порядку зменшення ступенів вершин відповідного зваженого графу, які визначаються за формулою:

$$d_i = \left\| \sum_{j=1}^n m_j c_{ij} \right\| - c_{ij}, \quad 1 \leq i \leq n. \quad (15)$$

Згідно цього списку здійснюється процедура послідовного призначення частот стільникам мережі, на кожному кроці котрої формується вектор частотних обмежень ЕМС, та здійснюється вибір частотного каналу з найменшим номером, що задовольняє даному вектору. Далі використовується багатократний запуск, тобто процедура послідовного призначення частот повторюється, але формування списку запитів частотних присвоєнь виконується наступним чином: з вихідного списку обирається елемент з максимальним привласненим номером частотного каналу і обмінюється з випадково обраним елементом списку. Позиція вибору елемента зі списку запитів частотних присвоєнь з максимальним привласненим номером каналу обумовлена тим, що в даному варіанті частотного плану він має найбільші обмеження за кількістю доступних каналів, тобто має ключову значущість в процесі формування груп частотних присвоєнь. Перестановка даного елемента потенційно повинна дати якісно нове рішення. На рис. 3 показано отриману залежність імовірності p зменшення числа необхідних каналів на величину z за рахунок багатократного запуску, для різного числа запусків процедури ($y_{\max} = 2^g$). Знайдено оптимальне значення числа запусків процедури послідовного призначення частот $y_{\text{opt}} = 2^{17}$, при цьому час пошуку рішення для мережі з 1000 стільників дорівнює приблизно 40 хвилин на ЕОМ Pentium 4 3,2 ГГц.

У п'ятому розділі розглянуто задачу оптимального розташування БС мережі GSM-R, та запропоновано метод її вирішення на основі генетичного алгоритму (ГА) (рис. 4). У процесі розробки ГА оптимального розташування БС були вирішені наступні питання:

1. Розроблено спосіб кодування вихідних даних у хромосому.
2. Розроблено метод створення початкової популяції ГА, який враховує

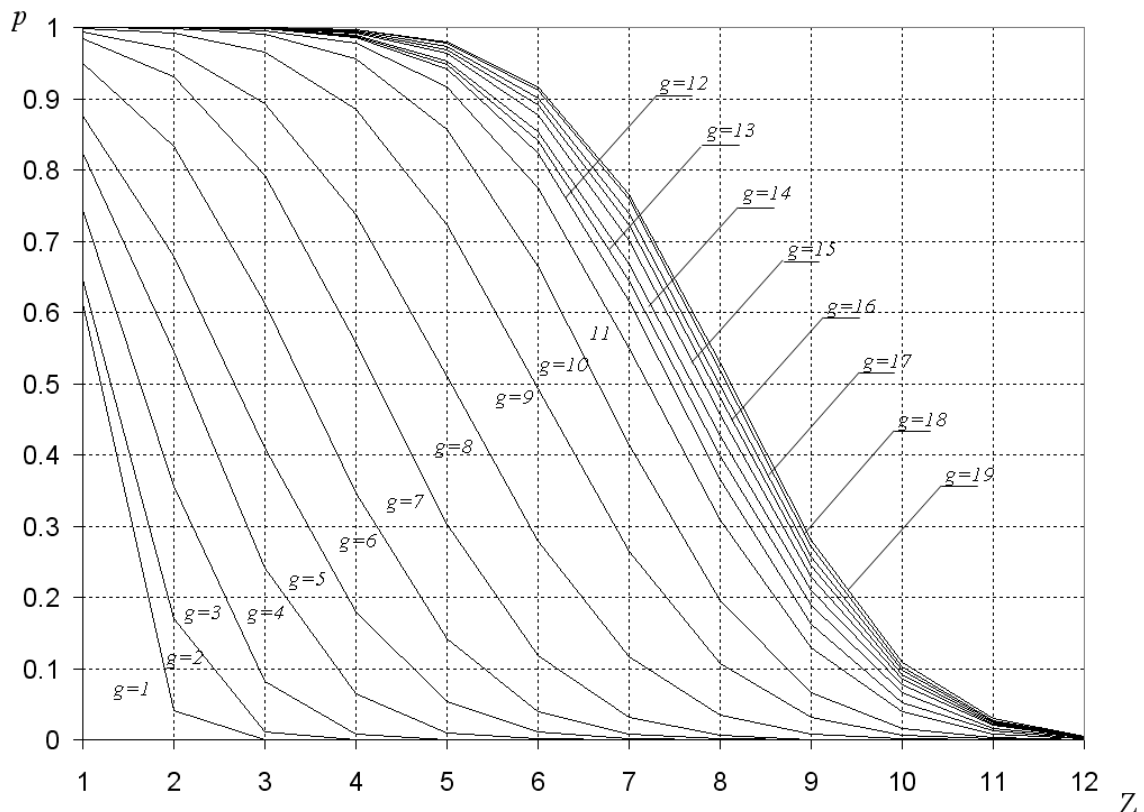


Рис. 3. Залежність імовірності p зменшення числа необхідних каналів на величину z , для різного числа запусків процедури послідовного призначення частот ($y_{\max} = 2^z$).

територіальний розподіл прогнозованого ослаблення сигналу від кожної БС на місцевості. При цьому формування хромосом здійснюється поступовим включенням БС до конфігурації, доки не буде виконуватися умова (6). На кожному кроці імовірність включення до конфігурації окремої БС визначається наступною залежністю:

$$p_r = \frac{c-1}{c^n-1} c^{n-r}; \quad r \in \{1, \dots, n\}, \quad (16)$$

де r – номер БС у сортованому за зростанням кількості інцидентних ЕДНП, списку БС, що входять до множини $S_{\text{БС}}$, c – коефіцієнт ($0 < c < 1$), що визначає ступінь стохастичності формування. При $c \rightarrow 0$ дана процедура являє собою “жадібну” евристику, при $c \rightarrow 1$ – випадковий спосіб формування. Аналіз результатів роботи розробленого методу формування початкової популяції показав, що при його застосуванні, у середньому, на 12% скорочується час пошуку рішення, в порівнянні з методом формування “випадковим” чином (рис. 5).

3. Проведено аналіз впливу виду операції селекції на роботу генетичного алгоритму, на підставі якого обрана селекція з експоненціальним ранжируванням.

4. Проведено аналіз впливу виду оператора кросинговеру на ефективність пошуку рішення, та зроблено висновок, що для вирішення задачі визначення оптимального розташування БС однорідний оператор кросинговеру є найбільш ефективним. Висока ефективність однорідного оператора кросинговеру підтверджена експериментально (рис. 5).

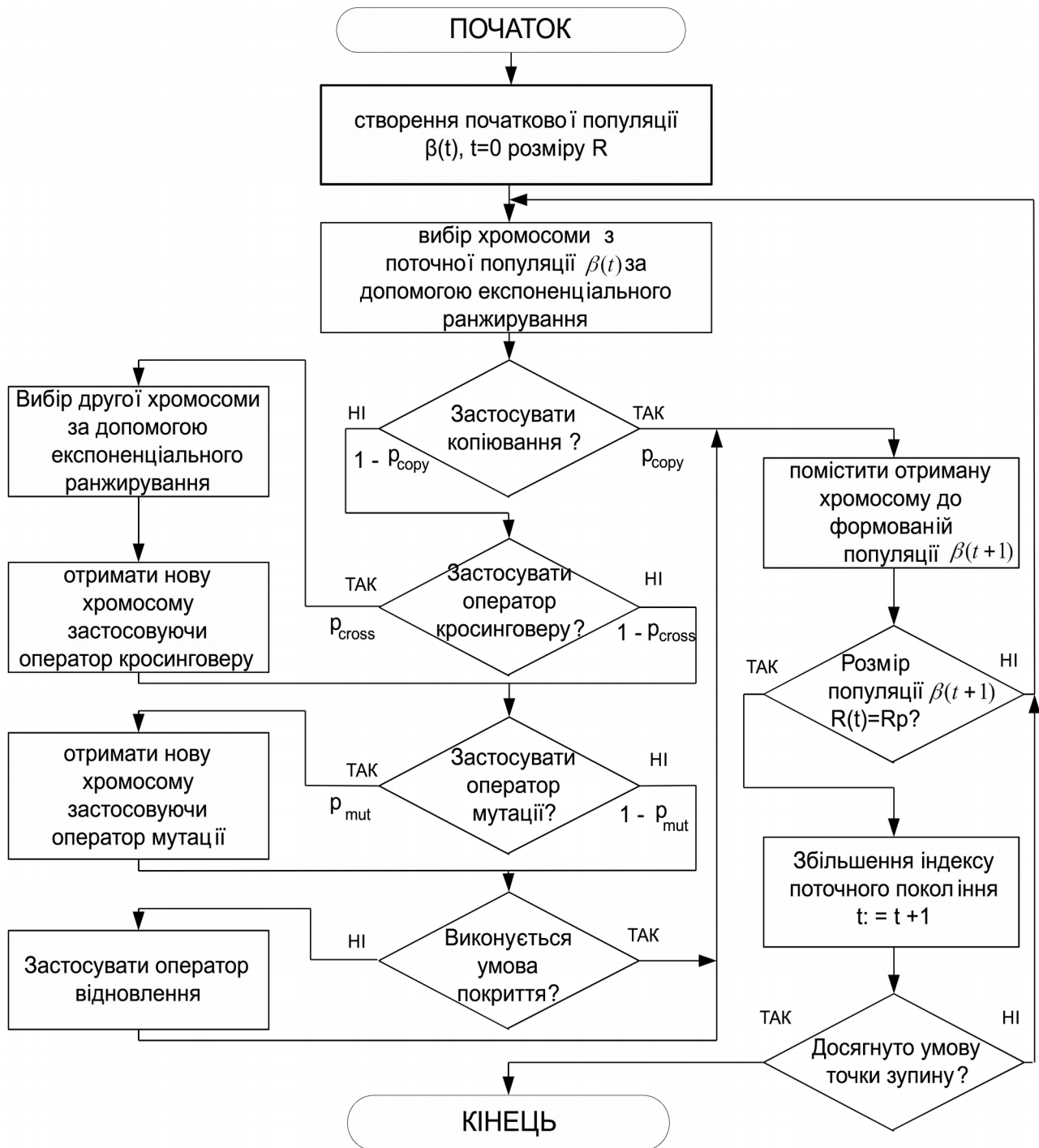


Рис. 4. Блок-схема розробленого методу пошуку оптимального розташування БС, який базується на принципах генетичного алгоритму.

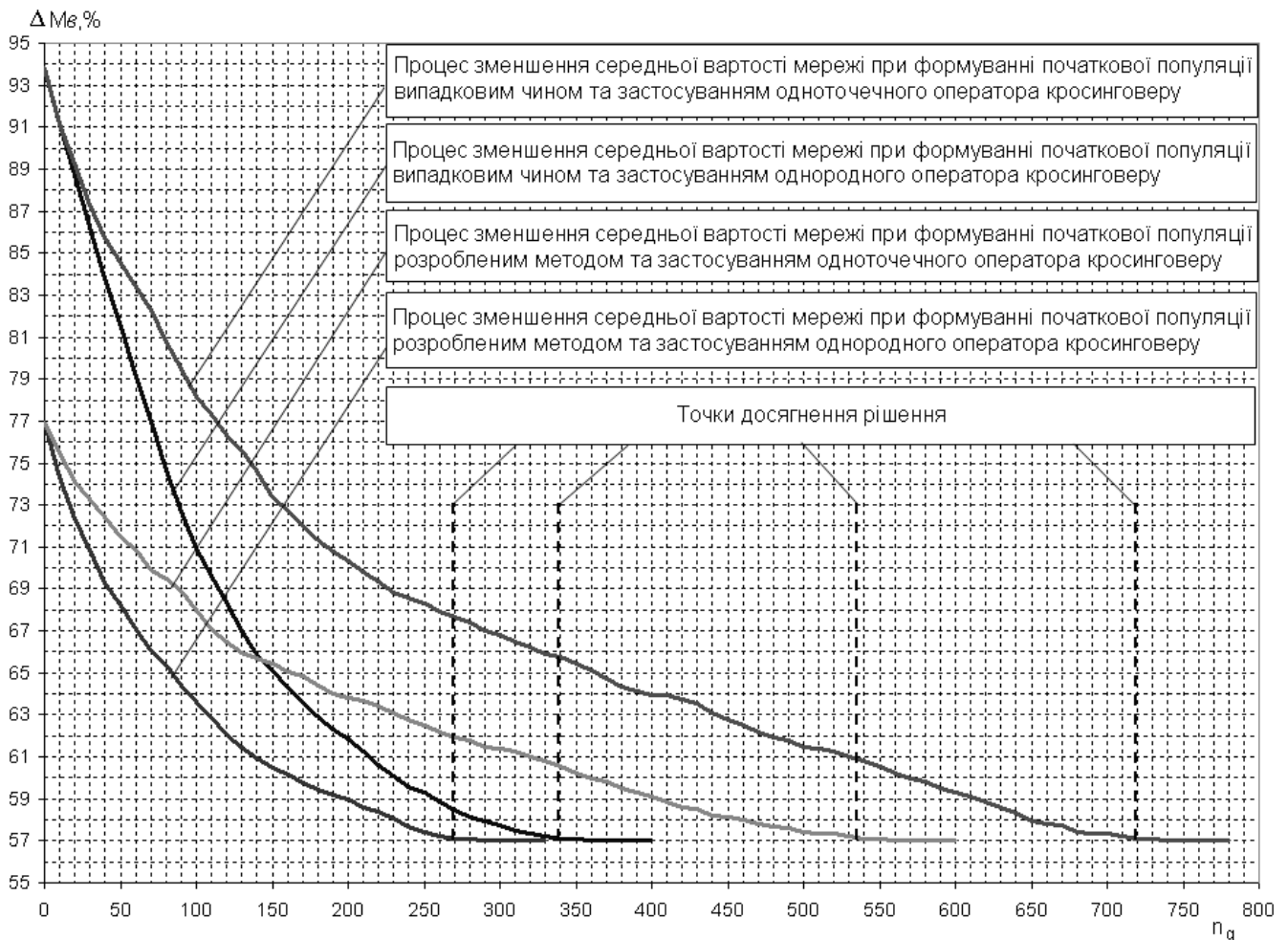


Рис. 5. Ілюстрація процесу зменшення вартості мережі ΔM_e , в залежності від номеру поточного покоління n_g ГА.

5. Показано, що ступінь наближення рішення ГА до глобального мінімуму визначається величиною імовірності мутації, зі збільшенням якої точність одержуваних рішень зростає, але разом з тим зростає і час їх пошуку. В результаті проведеного аналізу впливу імовірності мутації на час пошуку рішення, визначено оптимальне значення імовірності мутації ($p_{mut} = 0,08$).

6. Проведено аналіз впливу розміру початкової популяції на точність рішень, отриманих розробленим методом пошуку оптимального розташування БС, який базується на принципах ГА. На підставі отриманих залежностей дані рекомендації з вибору розміру початкової популяції: $R = 2 \cdot |S_{BC}|$.

7. Запропоновано допоміжний оператор ГА, - оператор "відновлення", необхідність розробки якого викликана високою імовірністю отримання хромосоми, яка не відповідає умові (6), після операцій кросингверу та мутації. Розроблений оператор дозволяє забезпечити виконання цієї умови, за рахунок локальної оптимізації конфігурацій стільників БС (9), або включенням до конфігурації додаткових БС, що є інцидентними до ЕДНП в яких не виконується умова (6).

За результатами моделювання на ЕОМ з використанням розробленого методу зменшення вартості будівництва проектованої мережі у середньому складає 9,3%.

У додатку А частково представлено експериментально отримані запаси рівнів сигналу від БС. У додатку Б представлені результати моделювання з використанням ЕОМ на основі розробленого автоматизованого методу ЧТП (рис. 6), які отримані при його реалізації у вигляді програмного продукту, реалізованому на мові програмування C++.

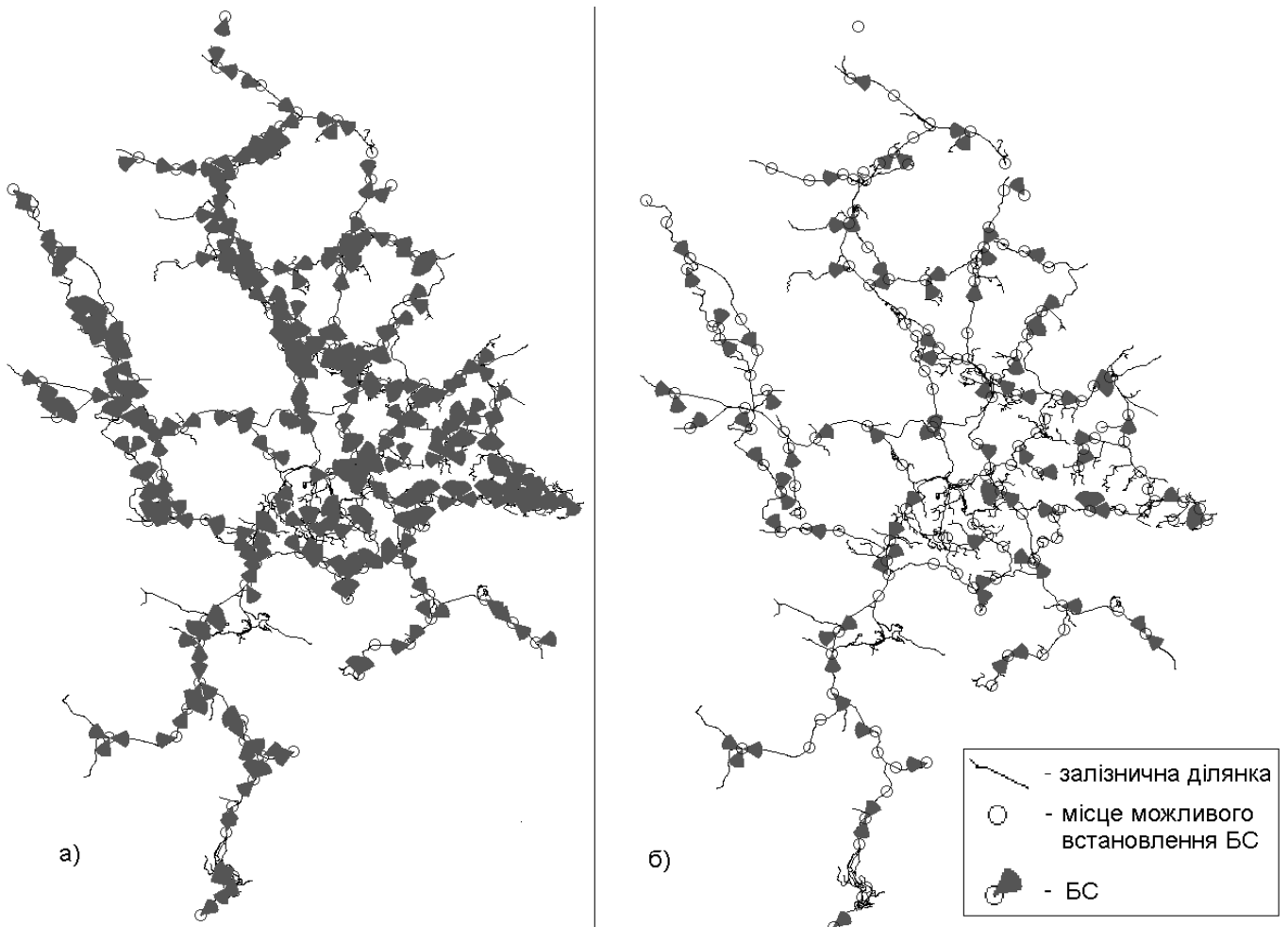


Рис. 6. Найкраща конфігурація у початковій популяції (а) та одержане рішення (б) розробленим методом ЧТП мережі GSM-R на основі ГА.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та рішення наукової задачі, що полягає в розробці методу автоматизованого ЧТП мереж ЗТР стандарту GSM-R, який дозволяє одержувати оптимальні, за критерієм мінімальної вартості, конфігурації мережі. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації роботи наступні:

1. Виконано формалізацію задачі ЧТП мережі ЗТР стандарту GSM-R, аналіз якої показав, що вона належить до класу задач дискретної оптимізації про багатократне покриття множин з додатковими обмеженнями та містить у собі дві підзадачі, що є *NP* - складними. Вектором обмежень цієї задачі є задані показники якості, а цільова функція – вартість мережі, зменшення якої можливо шляхом визначення оптимального розміщення БС. Розмір простору пошуку поставленої задачі не дозволяє використовувати точні методи для знаходження мінімуму цільової функції за розумний час. Для зменшення обчислювальної складності поставленої задачі застосовано метод декомпозиції, та розроблена методика наближеного вирішення задачі ЧТП, на підставі якої виділено перелік задач, що потребують аналізу і рішення: задача прогнозування втрат радіосигналу при поширенні, задача пошуку оптимального розміщення БС, задача формування груп частотних присвоєнь передавачам БС для забезпечення ЕМС.

2. Отримано аналітичний вираз залежності очікуваної кількості необхідних БС мережі GSM-R, на основі якого розроблено метод оцінки впливу похибки прогнозування втрат при розповсюдженні радіосигналу, на точність одержуваних рішень. Це дозволяє приводити порівняльний аналіз різних методик прогнозування ослаблення радіосигналу на трасі розповсюдження, та визначати ступінь їхнього впливу на ефективність ЧТП мереж рухомого радіозв'язку з нерегулярною стільниковою структурою. Результати оцінки існуючих методик прогнозування ослаблення сигналу на трасі розповсюдження, показали, що найбільш придатний, у даному випадку, є метод Окамури-Хата. Оцінка дальності зв'язку при високих вимогах до імовірності забезпечення мінімального рівня сигналу ($0,95 \div 0,99$), призводить до значного (2 - 3 рази) збільшення кількості потрібних БС, що збільшує вартість мережі GSM-R. Для збільшення точності прогнозу запропоновано використання нейронної мережі для автоматизованого аналізу профілю траси та часткового прогнозування повільних завмирань.

3. На основі експериментальних даних визначена залежність рівня бітових помилок на вході мовного кодеку від співвідношення сигнал-завада у радіоканалі GSM, на підставі якої отримано величину мінімально-допустимого значення сигнал-завада за основним і сусіднім каналами, які склали 14 дБ та -2дБ відповідно. Для забезпечення внутрішньосистемної ЕМС мережі GSM-R розроблено метод формування груп частотних присвоєнь передавачам БС, який поєднує в собі випадковий і адаптивний пошук. Аналіз результатів практичного застосування розробленого методу показав, що він дозволив зменшити кількість необхідних частотних каналів на 20% у більш ніж 90% випадків, що сприяє більш раціональному використанню радіочастотного ресурсу.

4. Розроблено метод автоматизованого пошуку оптимального розміщення БС мережі GSM-R з використанням генетичного алгоритму, що відрізняється від відомих введень додаткового оператора “відновлення”, який дозволив забезпечити одержання припустимих конфігурацій мережі після операцій кросинговеру і мутації за рахунок використання локальної оптимізації параметрів стільників, а також запропонованою евристичною процедурою формування початкової популяції, яка враховує територіальний розподіл прогнозованого ослаблення сигналу від кожної БС на місцевості. За результатами моделювання на ЕОМ, зменшення вартості будівництва проекрованої мережі завдяки застосуванню пошуку оптимального розміщення БС, у середньому складає 9,3 %.

Отримані результати впроваджені в науково-дослідних роботах та на виробництві(реалізованих проектах), що підтверджено відповідними актами впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Саенко А.С. Метод синтеза оптимальной конфигурации сети технологической радиосвязи стандарта GSM-R / А.С. Саенко, Н.В. Книгавко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. –2008. -№3. – С. 13-19.
2. Саенко О.С. Экспериментальне дослідження характеристик каналів у стільникових мережах залізничного технологічного радіозв’язку / О.С. Саенко, А.О. Єлізаренко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 98. – С. 99 - 104.
3. Саенко А.С. Экспериментальное исследование влияния инфраструктуры железной дороги на статистические характеристики быстрых замираний в диапазоне частот 900 МГц / А.С. Саенко // Сб. научных трудов. – Донецк: ДонИЖТ, 2008. – Вып. 13. – С. 75 - 80.
4. Саенко А.С. Экспериментальное исследование влияния внутрисистемных помех по основному каналу приёма на качество связи стандарта GSM-R / А.С. Саенко // Сб. научных трудов. – Донецк: ДонИЖТ, 2008. – Вып. 14. – С. 101-107.
5. Саенко А.С. Метод оптимального присвоения частот сети технологической радиосвязи стандарта GSM-R / А.С. Саенко // АСУ и приборы автоматики. – Харьков, ХНУРЕ, 2008. – Вып. 143. – С. 68 - 73.
6. Саенко А.С. Анализ “случайного” метода формирования начальной популяции, для генетического алгоритма в задаче оптимального размещения базовых станций сети стандарта GSM-R / А.С. Саенко // Сб. научных трудов. – Донецк: ДонИЖТ, 2008. – Вып. 15. – С. 44 – 49.
7. Саенко А.С. Метод поиска оптимального размещения базовых станций сети железнодорожной технологической радиосвязи стандарта GSM-R с применением генетического алгоритма / А.С. Саенко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку УНДІЗ 2008 Вип. 4 – С. 61- 66.
8. Саенко А.С. Оценка влияния погрешности прогнозирования ослабления радиосигнала при распространении, на стоимость получаемых конфигураций подсистемы базовых станций сети GSM-R / А.С. Саенко // Сб. научных трудов. – Донецк: ДонИЖТ, 2008. – Вып. 16. – С. 71 – 78.

9. Саенко А.С. Метод территориально-частотного планирования сети технологической радиосвязи стандарта GSM-R / А.С. Саенко // Матеріали 21-ї міжнародної науково-практичної конференції «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України». – Алушта: 2008. – С. 8.

10. Саенко А.С. Применение нейросетевых алгоритмов для прогнозирования изменения напряженности электромагнитного поля / А.С. Саенко // Материалы 9-го международного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» . – Харьков: ХНУРЭ, 2005. - С. 107.

11. Саенко А.С. Решение задачи структурной оптимизации сети GSM-R методом генетического алгоритма / А.С. Саенко // Материалы 12-го международного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Харьков: ХНУРЭ, 2008. - С. 161.

АНОТАЦІЯ

Саєнко О.С. Метод автоматизованого частотно-територіального планування мереж стандарту GSM-R. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2009.

Метою дослідження є зменшення матеріальних витрат при впровадженні мереж залізничного технологічного радіозв'язку стандарту GSM-R, завдяки застосуванню методу частотно-територіального планування, який дозволяє одержувати оптимальні, за критерієм мінімальної вартості, конфігурації мережі, забезпечуючи при цьому задані якісні показники.

Для досягнення поставленої мети у роботі розроблено метод визначення оптимальних, за критерієм мінімальної вартості, місць встановлення базових станцій, який базується на принципах генетичного алгоритму, та дозволяє врахувати підвищені вимоги до надійності мереж залізничного технологічного радіозв'язку. Також у роботі розроблено метод формування груп частотних присвоєнь стільникам мережі GSM-R, який дозволяє зменшити кількість необхідних частотних каналів, забезпечуючи при цьому електромагнітну сумісність.

За результатами моделювання на ЕОМ, зменшення матеріальних витрат при впровадженні мереж GSM-R, завдяки застосуванню розробленого методу частотно-територіального планування, у середньому складає 9,3%.

Ключові слова: частотно-територіальне планування, технологічний радіозв'язок, GSM-R, радіоканал, базова станція, генетичний алгоритм.

АННОТАЦИЯ

Саенко А.С. Метод автоматизированного частотно-территориального планирования сетей стандарта GSM-R. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2009.

Диссертационная работа посвящена разработке метода автоматизированного частотно-территориального планирования (ЧТП) сетей стандарта GSM-R, который позволяет уменьшить материальные затраты на строительство, обеспечивая при этом требуемые показатели качества.

Формализация и анализ задачи автоматизированного ЧТП сети железнодорожной технологической радиосвязи стандарта GSM-R, показала, что она принадлежит к классу задач оптимизации с ограничениями, определена целевая функция и вектор ограничений. Анализ влияния отдельных структурных элементов сети на её суммарную стоимость позволил сделать вывод, что основным способом уменьшения материальных затрат является определение оптимальных мест установки базовых станций (БС). Размер пространства поиска решений поставленной задачи не позволяет использовать методы прямого перебора для нахождения минимума целевой функции за разумное время. Для уменьшения вычислительной сложности поставленной задачи применен метод декомпозиции. В работе предложена методика решения задачи ЧТП сети GSM-R, на основании которого выделены задачи, требующие анализа и решения:

- задача прогнозирования потерь при распространении радиосигнала в диапазоне частот 900 МГц с учетом влияния инфраструктуры железнодорожного транспорта;
- задача выбора оптимального размещения БС;
- задача присвоения частот для обеспечения электромагнитной совместимости.

Результаты оценки существующих методик прогнозирования потерь при распространении сигнала показали, что метод Окамуры-Хата может использоваться лишь при построении начального приближения сети стандарта GSM-R. Для увеличения точности прогноза предложено использование нейронной сети для автоматизации анализа профиля трассы с целью частичного прогнозирования медленных замираний.

Определена зависимость уровня битовых ошибок на входе речевого кодека от соотношения сигнал/помеха, на основании чего рекомендованы минимально-допустимые значения сигнал/помеха по основному и соседнему каналам, которые, для сети GSM-R, составили 14 дБ и -2дБ соответственно. Предложен комбинированный метод формирования групп частотных присвоений сети GSM-R сочетающий в себе “жадный” алгоритм, случайный и адаптивный поиск. Анализ результатов работы предложенного метода показал, он позволяет находить решения за приемлемое время работы.

Предложен метод определения оптимальных мест установки базовых станций на основе генетического алгоритма (ГА), в процессе разработки которого были решены задачи:

- разработан способ кодирования вариантов мест установки БС для ГА;

- разработан метод формирования начальной популяции ГА, учитывающий территориальное распределение ослабления сигнала от БС на местности, что позволило сократить время поиска решения;

- проведен анализ влияния вида операции селекции на работу ГА, на основании которого выбрана селекция с экспоненциальным ранжированием;

- выполнен анализ влияния вида оператора скрещивания на эффективность поиска решения разработанным методом поиска оптимального размещения БС на основе ГА, показано, что однородный оператор скрещивания является наиболее эффективным, что подтверждено экспериментально;

- проведен анализ влияния вероятности мутации на время поиска решения, определено оптимальное значение вероятности мутации;

- проведенный анализ влияния размера начальной популяции на точность получаемых решений, даны рекомендации по выбору размера множества решений;

- предложен вспомогательный оператор ГА – оператор “восстановления”.

По результатам моделирования на ЭВМ, снижение материальных затрат при внедрении сетей GSM-R за счет применения разработанного метода частотно-территориального планирования, в среднем составляет 9,3%.

Ключевые слова: частотно-территориальное планирование, железнодорожная технологическая радиосвязь, GSM-R, базовая станция, генетический алгоритм.

ABSTRACT

Saenko A.S. Method of automatic frequency - spatial GSM-R networks planning. - Manuscript.

The thesis for a scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.12.02 - Telecommunication systems and networks. - The Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2009.

The dissertation is devoted to reduce costs in the implementation of the railway networks of radio technology standard GSM-R, through the use of frequency and spatial planning, which allows optimal criterion for the lowest cost network configuration, providing the specified quality parameters.

To achieve the goal of the developed method of determining the optimal criterion for minimum cost, site of the base stations, which is based the principles of genetic algorithm, and can accommodate increased requirements for reliability of the railway networks of radio technology. Also in the developed method for the formation of groups of frequency assignments to cellular networks GSM-R, which reduces the number of frequency channels, while ensuring the electromagnetic compatibility.

The results of simulation, reducing costs for the introduction of network GSM-R, developed through the use of frequency and spatial planning, an average of 9.3%.

Key words: frequency-spatial planning, railway technological radio communication, GSM-R, base station, genetic algorithm.

Саєнко Олександр Сергійович

УДК 656.254.16:621.396.931

**МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ЧАСТОТНО-ТЕРИТОРІАЛЬНОГО
ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ СТАНДАРТУ GSM-R**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

С.І. Приходько

Підписано до друку _____
Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний.
Умовн.-друк.арк. 0,9. Обл.-вид.арк. 1,1.
Замовлення № _____, Тираж 100.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків – 50, майдан Фейєрбаха, 7