

ISSN 1994-2354

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ



СПбГПУ



С  
А  
Н  
К  
Т  
-  
П  
Е  
Т  
Е  
Р  
Б  
У  
Р  
Г

**5(65) 2008**

Информатика.  
Телекоммуникации.  
Управление.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

<i>Лукьянова Л.М. Методика структурно-целевого анализа и синтеза организационно-технических комплексов</i> .....	7
<i>Савельев М.В., Аликов А.Ю., Федосеев С.В. Вероятность связности сети с аддитивной структурой</i> .....	14
<i>Тихомиров В.А., Котляров В.П. Верификация программного обеспечения при интеграции новой функциональности в существующую систему</i> .....	20
<i>Мезенцева О.С., Алексеев А.И. Применение аппарата пороговых схем и модулярной арифметики для повышения производительности распределенных вычислительных систем</i> .....	26
<i>Дронь В.О., Марков А.М., Наумов А.С. Сокращение объема вычислений при случайном поиске в задачах пеленгования</i> .....	31
<i>Березкин А.А. Построение оптимальных нейронных декодеров блоковых кодов</i> .....	34

### Радиотехника и связь

<i>Кудряшов Д.А., Цикин И.А. Вероятностно-временные характеристики двунаправленной радиосистемы передачи тревожных извещений</i> .....	41
<i>Сидоров Ю.Е., Наспер М. Л. Оценка эффективности обнаружителя радиосигналов в каналах с замираниями при разнесенном приеме</i> .....	46
<i>Былин А.Р., Былина М.С., Глаголев С.Ф. Пути повышения разрешающей способности импульсных измерений</i> .....	49
<i>Сидоров Ю.Е., Лаврентьев Н.В. Обнаружитель радиосигналов в каналах связи с неизвестными характеристиками замираний</i> .....	54
<i>Рыжов В.А., Кипоть В.Л., Биряльцев Е.В. Параметризация спектров в технологии низкочастотного сейсмического зондирования на основе вейвлет анализа</i> .....	58
<i>Данилович Д.А. Оптимизация характеристик антенн и высот их подвеса на многоинтервальных цифровых радиорелейных линиях</i> .....	62
<i>Бузюкова И.Л., Гайдамака Ю.В. Исследование сигнальной нагрузки интеллектуальных сетей связи с узлами в разных часовых поясах</i> .....	67

### Проблемы передачи и обработки информации

<i>Максимов М.И., Сидорова Н.А. Принципы работы и практическая реализация речевого кодека на основе метода линейного предсказания с возбуждением от кода</i> .....	75
<i>Кукунин Д.С. Модель системы с адаптивным выбором кода</i> .....	81
<i>Кукунин Д.С., Когновицкий О.С. Методика оценки качества канала в процессе передачи данных</i> .....	86

### Вычислительные машины и программное обеспечение

<i>Новиков Ф.А., Тихонова У.Н. Определение проблемно-ориентированных языков интерпретируемыми автоматами</i> .....	93
--	----

<i>Дунаев А.В., Ларченко А.В., Бухановский А.В. Инструментальная оболочка поддержки принятия решений разработчика высокопроизводительных приложений в Грид-среде</i> .....	98
<i>Рачинский Е.С. Программная среда для оценки производительности клиент-серверных систем при нагрузочном окружении</i> .....	105
<i>Старостенко А.С., Самочадин А.В. Программные средства дистанционного управления очередями потребителей</i> .....	111
<i>Куракин А.С. Использование мультиагентного подхода при разработке комплексов программ систем корпоративного дистанционного образования</i> .....	114
<i>Ицыксон В.М., Моисеев М.Ю., Цесько В.А., Карпенко А.В. Исследование систем автоматизации обнаружения дефектов в исходном коде программ</i> .....	119
<i>Ицыксон В.М., Захаров А.В., Ахин М.Х., Мяснов А.В. Автоматическое обнаружение дефектов программных систем на основе метода проверки модели</i> .....	127
<b>Системный анализ и управление</b>	
<i>Савельев М.В., Аликов А.Ю., Федосеев С.В. Синтез простых структур и наборов импульсных управляющих воздействий</i> .....	134
<i>Чебыкин С.В. Методика производственного планирования выпуска листового стекла</i> .....	139
<b>Приборы. Материалы электронной техники</b>	
<i>Лавров А.П., Молодяков С.А. Возможности построения процессоров обработки сигналов в виде гибридных оптоэлектронных микросхем</i> .....	144
<i>Зайцев Э.Ф., Гузенко К.В., Молдаванова Е.Н. Анализ волн в ферритодизлектрическом волноводе вариационным методом</i> .....	152
<b>Моделирование: методы, алгоритмы, технологии</b>	
<i>Макатов М.Р., Вердиев М.М. Информационная модель описания объектов и ситуаций проблемной среды</i> .....	156
<i>Исмаилов Ш.А. Магомедов Ш.Г. Алгоритмы и структуры преобразования числовых данных из позиционной системы счисления в систему остаточных классов</i> .....	159
<i>Новиков К.В. Быстродействующий алгоритм сегментации изображений на основе спектральных свойств анизотропных областей</i> .....	169
<i>Суров А.Н., Игизьянова Н.А., Потапов В.И. О сходимости решения разностной схемы в математической модели генерации тепловой энергии</i> .....	174
<i>Павлов Д.А. Алгоритм построения расширенного универсального базиса Гребнера</i> .....	179
<i>Манцеров Д.И. Система верификации для параметрических классов задач по математике</i> .....	183
<i>Канунникова Е.А., Колтунов Л.И., Потапенко А.Н. Численное моделирование распределенных электротехнических систем в полубезграничных областях на основе метода инверсии</i> .....	189
<i>Ушмоткин А.С., Коржик В.И. Оценка эффективности использования системы цифровых "водяных" знаков для изображений в условиях коалиционных атак</i> .....	198
<i>Суслов Н.В. Принципы построения виртуального обучающего пространства</i> .....	204

3. Сидоров Ю.Е. Статистический синтез автоматизированных решающих систем при априорной неопределенности. М.: Воениздат, 1993. 227 с.  
 4. Теория обнаружения сигналов /П.С. Акимов, П.А. Бакут, В.А. Богданович и др. /Под ред. П.А. Бакута. — М.: Радио и связь, 1984.  
 5. Леман Э. Проверка статистических гипотез. М.: Наука, 1964. 498 с.

6. Линник Ю.В. Статистические задачи с мешающими параметрами. М.: Наука, 1966. 252 с.  
 7. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Сов. Радио, 1971. 326 с.  
 8. Сидоров Ю.Е., Лаврентьев Н.В. Оптимальный обнаружитель радиосигналов: решающее правило, статистическое имитационное моделирование. - Труды СПбГТУ, 2008, №507, с. 118–124.

Рыжов В.А., Кипоть В.Л., Биряльцев Е.В.

## ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ СПЕКТРОВ В ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

### Введение

В пассивной технологии низкочастотного сейсмического зондирования<sup>1</sup> (НСЗ) [1], направленной на поиск нефти и газа, регистрируются фоновые микросейсмические колебания поверхности Земли. Известно [2], что в низкочастотном диапазоне, от 1 Гц до 10 Гц, наблюдается корреляция интенсивности спектральных максимумов (рис. 1) с наличием нефтегазовой залежи в разрезе. Вместе с тем наши исследования физической природы эффекта [3], а также исследования ряда зарубежных компаний [4] указывают на явление резонанса продольных сейсмических волн между акустически контрастными плоско-параллельными границами природных резонаторов. Следовательно, увеличение спектрального максимума связано с увеличением добротности колебательной системы. Исходя из теоретических представлений о резонансных явлениях следует, что добротность можно оценить двумя способами: 1) по отношению частоты собственных колебаний к полосе пропускания системы; 2) по отношению амплитуды гармонического сигнала на выходе системы к амплитуде на входе при частоте, соответствующей собственным колебаниям системы. Чтобы использовать данные способы оценки добротности, необходимо знать основ-

ные параметры спектральных максимумов: частота, ширина полосы, сигнал/шум. В данной статье решается задача разработки алгоритма параметризации спектральных кривых с целью оценки информативных параметров.

$V, \text{ м/с}$

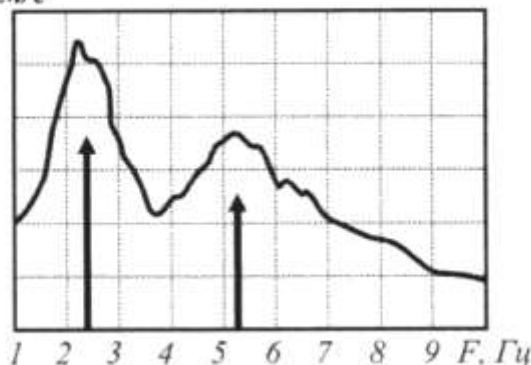


Рис.1. Пример спектра НСЗ

### Основная часть

На рис. 2 представлена модель спектрального максимума и его параметры. В аналитической форме она определяется как

$$sp(f, f_0, \sigma_0, S, N) = \left[ S \cdot \left( 1 - \frac{(f - f_0)^2}{\sigma_0^2} \right) \cdot e^{-\frac{(f - f_0)^2}{2\sigma_0^2}} + N \right] \cdot \chi_{x \in (-\sigma_0, \sigma_0)} \mid \chi_{x \in (-\infty; -\sigma_0] \cap [\sigma_0; +\infty)} \quad (1)$$

<sup>1</sup> Работа выполнена по материалам компании ЗАО "Градиент".

где  $f_0$  — частота,  $S$  — амплитуда максимума над фоном,  $N$  — амплитуда фона,  $\sigma_0$  — полуширина основания максимума,  $SNR$  — соотношение “сигнал/шум”,  $\Delta f$  — ширина.

$V, \text{ м/с}$

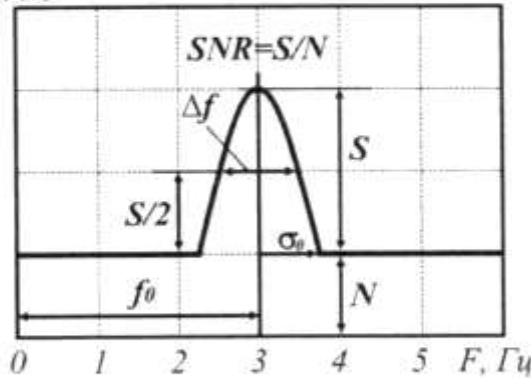


Рис. 2. Модельный максимум на фоне модельного шума

Для решения поставленной задачи был разработан алгоритм, основанный на вейвлет-преобразовании. В данном случае вейвлет-преобразование применяется к амплитудным спектрам микросейсмических сигналов, а не самим сигналам. Идея применения вейвлетов заключается в том, чтобы оценить параметры частота  $f_0$  [Гц] и ширина базисного вейвлета  $\sigma_0$  [Гц] (масштаб вейвлета), при которых вейвлет образ обретает локальный максимум. Применение вейвлетов здесь вполне обосновано, так как в рассматриваемых спектрах содержится многообразие спектральных максимумов во всем частотном диапазоне с различной шириной и амплитудой. В качестве базисного вейвлета выбрана вторая производная функции Гаусса (мексиканская шляпа) [5]:

$$\varphi(f, \sigma) = \frac{\sqrt{e}}{2\sigma} \cdot \left(1 - \frac{f^2}{\sigma^2}\right) \cdot e^{-\frac{f^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Такой выбор сделан для соответствия положительной части этого вейвлета форме модельного спектрального максимума (1).

Алгоритм определения координат локальных максимумов вейвлет-образа реализован с учетом особенностей неравномерного распределения плотности локальных максимумов. В классическом ортогональном вейвлет-разложении для того, чтобы полностью описать сигнал, достаточно только масштабов  $\sigma(b) = 2^b$ , где  $b = 0, 1, 2, \dots$ . Плотность максимумов вейвлет-образа увеличивается с понижением масштаба  $\sigma$ .

Во избежание избыточности вычислений с учетом этих закономерностей генерируется массив стартовых точек в плоскости  $(f, \sigma)$ . Для каждой стартовой точки выполняется уточнение координат  $f$  и  $\sigma$  ближайшего локального максимума с применением метода прямого поиска Хука-Дживса [6]. Несколько стартовых точек могут собраться возле одного локального максимума. Это приводит к избыточности информации в выходной таблице, поэтому применяются методы кластерного анализа для объединения их в одну группу, а затем в одну точку через усреднение координат группы. Кластерный анализ позволяет выделить группу аномалий с близкими параметрами, представить наблюдаемые данные в наглядные структуры. Наиболее популярные методы кластерного анализа – объединение (древовидная кластеризация) и метод К-средних. В данном случае использовался метод объединения. Важную роль в кластерном анализе играет понятие мера расстояния. Наиболее прямой путь вычисления расстояний между объектами в многомерном пространстве состоит в вычислении евклидовых расстояний. На расстояния сильно влияют различия между осями, по координатам которых вычисляются эти расстояния. С учетом выше приведенных закономерностей вейвлет-разложения мера близости между двумя точками на вейвлет-образе определяется как

$$l(f_1, \sigma_1, f_2, \sigma_2) = \sqrt{\left(\frac{f_2 - f_1}{(\sigma_2 + \sigma_1)/2}\right)^2 + (\log_2 \sigma_2 - \log_2 \sigma_1)^2}.$$

В результате работы алгоритма формируется сводная таблица, каждая строка которой содержит оценку параметров  $f_0$  и  $\sigma_0$  одного из спектральных максимумов.

Параметр сигнал/шум  $SNR$  определяется через введение дополнительной функции, которая в положительной области значений полностью совпадает с (2):

$$\chi(f, \sigma) = \begin{cases} \frac{\sqrt{e}}{2\sigma} \cdot \left(1 - \frac{f^2}{\sigma^2}\right) \cdot e^{-\frac{f^2}{2\sigma^2}} & |x \in (-\sigma, \sigma) \\ 0 & |x \in (-\infty, -\sigma] \cap [\sigma, +\infty). \end{cases} \quad (3)$$

Обе функции (2) и (3) нормированы из условий:

$$\int_{-\sigma}^{\sigma} \chi(f, \sigma) df = 1 \quad \int_{-\sigma}^{\sigma} \varphi(f, \sigma) df = 1.$$

Свертка модельного спектрального максимума (1) с функциями (2) и (3) вычисляется:

$$\Phi_{sp}^{\sigma}(f, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{|\sigma|}} \int sp(f') \varphi^*(f' - f, \sigma) df'$$

$$X_{sp}^{\chi}(f, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{|\sigma|}} \int sp(f') \chi^*(f' - f, \sigma) df'$$

В грубом приближении параметр  $SNR$  для модельного спектрального максимума определяется как

$$snr = \frac{\Phi_{sp}^{\sigma}(f_0, \sigma_0)}{X_{sp}^{\chi}(f_0, \sigma_0) - \Phi_{sp}^{\sigma}(f_0, \sigma_0)} \quad (6)$$

$\Phi_{sp}^{\sigma}(f_0, \sigma_0)$  даст величину, пропорциональную  $S$ .  $X_{sp}^{\chi}(f_0, \sigma_0)$  даст величину, пропорциональную  $S + N$ . Поэтому

$$snr \sim \frac{S}{(S + N) - (S)} = \frac{S}{N}$$

Чтобы получить коэффициент пропорциональности  $\alpha$ , вычислим  $snr/SNR$ , где  $SNR = S/N$ , по определению

$$\frac{snr}{SNR} = \frac{\frac{\Phi_{sp}^{\sigma}(f_0, \sigma_0)}{X_{sp}^{\chi}(f_0, \sigma_0) - \Phi_{sp}^{\sigma}(f_0, \sigma_0)}}{\frac{S}{N}} = \int_{-\sigma_0}^{\sigma_0} \varphi(f_0, \sigma_0)^2 df$$

Таким образом,  $\alpha$  есть функция масштаба вейвлета  $\sigma$  и вычисляется:

$$\alpha(\sigma_0) = \int_{-\sigma_0}^{\sigma_0} \varphi(f_0, \sigma_0)^2 df \quad (7)$$

Подставив (2) в (7), получаем:  $\alpha(\sigma_0) = 0,3863/\sigma_0$ . В результате

$$SNR = \frac{\sigma_0}{0,3863} \frac{\Phi_{sp}^{\sigma}(f_0, \sigma_0)}{X_{sp}^{\chi}(f_0, \sigma_0) - \Phi_{sp}^{\sigma}(f_0, \sigma_0)}$$

Ширина полосы модельного максимума  $\Delta f$  (рис. 2) по уровню  $\frac{1}{2}S + N$  аналитически соотносится с  $\sigma_0$  как

$$\Delta f = 1,252 \cdot \sigma_0$$

Таким образом, для каждого спектрального максимума мы оценили его параметры:  $f_0$ ,  $\sigma_0$ ,  $\Delta f$ ,  $SNR$  и имеем возможность оценить добротность колебательной системы двумя способами:

- 1)  $Q^{(1)} = \frac{f_0}{\Delta f}$ ,
- 2)  $Q^{(2)} = \frac{A}{N} = \frac{S + N}{N} = \frac{S}{N} + 1 = SNR + 1$ ,

где  $A$  — амплитуда спектрального максимума, которая характеризует результат усиления природным резонатором амплитуды входного фонового шума  $N$ .

В технологии низкочастотного сейсмического зондирования исследуются спектры с небольшими добротностями  $1 < Q < 5$ , поэтому часто их морфология осложняется влиянием шума. Это приводит к флуктуациям искомым параметров. На рис. 3 представлен набор спектров, для которых была выполнена оценка параметров (см. табл. 1) наиболее выраженного спектрального максимума в диапазоне от 4 до 7 Гц.

При вычислении добротности первым способом  $Q^{(1)}$  в знаменателе стоит  $2\Delta f$  вместо  $\Delta f$ , т.к. оцениваемый максимум является первой, а не нулевой модой явления резонанса.  $Q^{(1)}$  зависит только от оцененной ширины и частоты спектрального максимума и не учитывает распределение энергии фона и самого максимума, как

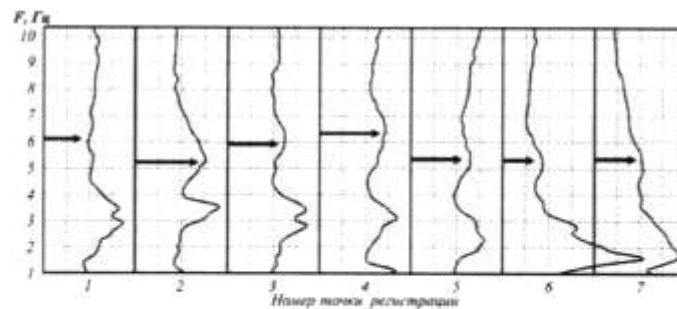


Рис. 3. Пример спектров микросейсмического поля

Таблица 1

Параметры спектральных максимумов, полученных предложенным алгоритмом в условиях их слабой выраженности.

№	$\Delta f$ , Гц	$\sigma_{\sigma}$ , Гц	$\Delta f$ , Гц	snr+1	$Q^{(1)} = f_0 / (2 \cdot \Delta f)$	$Q^{(2)} = SNR + 1$
1	6,16	0,94	1,17	1,12	2,63	1,28
2	5,22	0,66	0,83	1,23	3,15	1,39
3	5,93	0,98	1,23	1,25	2,42	1,64
4	6,30	1,16	1,46	1,22	2,16	1,66
5	5,33	0,86	1,08	1,20	2,47	1,46
6	5,30	0,63	0,79	1,22	3,33	1,36
7	5,33	0,75	0,95	1,09	2,82	1,17

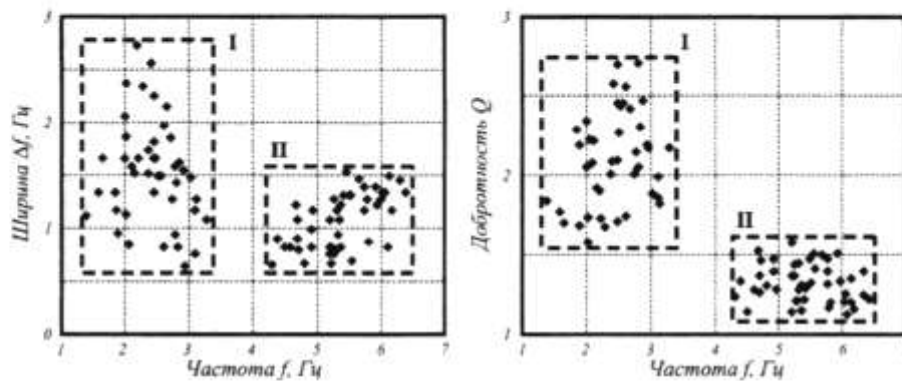


Рис.4. Результаты статистического анализа

это имеет место во втором случае  $Q^{(2)}$ . Поэтому при оценке добротности природного резонатора в НСЗ применяется  $Q^{(2)}$ .

Сопоставление полученных параметров по всей площади наблюдения позволяет выявить области их группировки, а также среднее и дисперсию. На рис. 4 представлена диаграмма распределения параметров  $\Delta f(f)$  и  $Q^{(2)}(f)$ . Каждая точка на диаграммах занимает свое положение в соответствии с параметрами своего спектрального максимума. Точки на диаграммах группируются в кластеры. Для данной площади выделяется два кластера, соответствующие двум основным спектральным максимумам на средних частотах 2.42 Гц и 5.38 Гц. Параметр "добротность" характеризует выраженность аномалии, следовательно, согласно [2] пропорционален вероятности обнаружения нефтегазовой залежи. Для каждой исследуемой площади критерий принятия решений выбирается индивидуально в

зависимости от геологической информации и сейсмической обстановки.

#### Заключение

Таким образом, для технологии НСЗ был разработан алгоритм оценки параметров спектральных максимумов, который позволяет: численно оценить информативные параметры; автоматизировать процесс параметризации. Дополнительное применение методов кластерного анализа при площадном анализе дает возможность статистически оценить характер распределения; разделить устойчивые спектральные максимумы от случайных; автоматизировать построение физических полей; численно сравнить информативные параметры между разными площадями работ.

Предложенный алгоритм внедрен в стандартный обрабатывающий комплекс НСЗ и опробован уже более чем на 5500 спектрах (с 01.2007 по 07.2008).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Birialtsev, E. V. and I. N. Plotnikova, I. R. Khabibulin, N. Y. Shabalin**, "The analysis of microseisms spectrum at prospecting of oil reservoir on Republic Tatarstan," EAGE Conference, Saint Petersburg, Russia, 2006. <http://www.earthdoc.org/detail.php?paperid=B016&edition=20&PHPSESSID=7b705646e1f439f737518cd21e91d5d8>
2. АНЧАР [Электронный ресурс] Группа коммерческих компаний; — Режим доступа: <http://www.anchor.ru/text.phtml?m=165>, свободный. — "О технологии АНЧАР". — Яз. рус..
3. **Rizhov, V; Birialtsev, E.** The microseism spectral analysis at the range from 1 to 20 Hz for the geology prospecting GII-1MO5O-004; Oral: 14.4. 18:15 - 18:30 Lecture Room 2; 1607-7962/gra/EGU2008-A-05718 <http://www.cosis.net/abstracts/EGU2008/05718/EGU2008-A-05718-2.pdf?PHPSESSID>
4. SPECTRASEIS [Электронный ресурс] коммерческая компания / Zurich, Switzerland — Режим доступа: <http://www.spectraseis.com>, свободный. — "Welcome to Spectraseis". — Яз. англ.
5. **Малла С.** Вэйвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. — М.: Мир, 2005. — 671 с., ил. ISBN 5-03-003691-1.
6. **Медьанский М.М., Антонов Е.В.**, Численные методы нелинейной оптимизации: алгоритмы и программы. Учебное пособие - Москва: МАИ, 2003. — 192 с. ISBN 5-7035-1278-6.
7. Кластерный анализ. Электронный учебник "StatSoft". 1984–2001г. <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html>

*Данилович Д. А.*

## ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН И ВЫСОТ ИХ ПОДВЕСА НА МНОГОИНТЕРВАЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЯХ

При строительстве РРЛ в большинстве случаев основные затраты относятся к антенно-мачтовым сооружениям (АМС), которые включают в себя затраты на сооружение антенных опор и стоимость самих антенн. В этой связи минимизация затрат на АМС является одной из основных задач проектирования многоинтервальных РРЛ. При этом наибольшие трудности при решении указанной задачи возникают при проектировании многоинтервальных РРЛ с двухчастотными планами в условиях наличия дополнительных неформальных ограничений.

Решение частной задачи оптимизации высот подвеса антенн на многоинтервальных ЦРРЛ с двухчастотными планами при наличии дополнительных ограничений и заданных характеристиках направленности антенн содержится в [1]. Решение другой частной задачи нахождения нескольких ранжированных лучших решений при оптимизации выбора антенн на многоинтервальных ЦРРЛ с двухчастотными планами представлено в [2]. В [3] содержится решение упрощенной задачи совместной оптимизации выбора антенн и высот их подвеса без учета

дополнительных неформальных ограничений, т.е. задачи нахождения единственного – оптимального решения.

В данной статье рассматривается решение общей задачи многовариантной минимизации суммарных затрат на АМС на основе совместной оптимизации выбора антенн и высот их подвеса на многоинтервальных ЦРРЛ с двухчастотными планами с учетом дополнительных неформальных ограничений. Подобная постановка задачи предусматривает нахождение заданного числа ранжированных лучших решений и обеспечивает оптимизацию проектного решения.

Рассматриваемая задача решается на основе принципа минимума затрат, при котором суммарные затраты на все антенны, антенные опоры и фидерные (волноводные) тракты минимальны при условии выполнения существующих критериев допустимости пар высот антенн и требований к показателям качества передачи на отдельных интервалах с учетом влияния внутрисистемных помех от сигналов обратного направления (СОН).