

## Решение задач оптимизации территориального размещения радиопередающих станций при проектировании сетей связи

Г. И. Щербаков, В. Р. Линдваль, Е. А. Спирина, М.А. Летаяф

Казанский государственный технический университет

420111 г. Казань, ул. К.Маркса 10, Россия, тел. (8-8432) 389488, эл. почта spirina@ru.kstu-kai.ru

### Введение

В последние годы быстрыми темпами развиваются сети телевизионного (ТВ) и звукового вещания. Это связано с бурным развитием регионального телерадиовещания, с реорганизацией сети в виду ее устаревания, с введением на действующих станциях передатчиков дополнительных программ, с освоением диапазона дециметровых волн и т.д.

Развитие сети телерадиовещания требует разрешение такого вопроса, как обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) между радиопередающими станциями (РПС) вещательной службы, между службами телевизионного и звукового вещания и другими службами, совместно использующими общие полосы частот. Подбор параметров для новой станции или изменение значений для действующей нередко сопряжен с необходимостью коррекции целого ряда параметров других радиовещательных станций. Для рационального использования параметров сети ТВ и звукового вещания особую важность приобретает эффективное планирование данной сети.

Оптимизацию параметров при проектировании сети телерадиовещания целесообразно проводить с использованием многослойных электронных карт местности и специализированного программного обеспечения на базе геоинформационных технологий. Это способствует повышению оперативности и обоснованности решений, принимаемых при выборе мест размещения РПС, за счет анализа влияния земной поверхности и местных предметов на распространение радиоволн, а также позволяет провести полный расчет зоны обслуживания с учетом рельефа местности и подстилающей поверхности. Однако, на сегодняшний день существующие специализированные геоинформационные системы (ГИС) направлены на решение задач анализа сети, а ГИС, направленные на решение задач оптимизации сети, находятся в стадии разработки.

При проектировании передающей сети стремятся так разместить радиовещательные станции, чтобы обеспечить возможность приема программ для большей части населения. Следовательно, актуальной является задача наилучшего покрытия территорий

информационными каналами при минимальных технических затратах.

К сети ТВ и звукового вещания предъявляются различные требования. В данной работе рассмотрены технические аспекты эффективности.

Исходная сеть телерадиовещания  $A$  (рис.1) состоит из  $N$  РПС и характеризуется техническим показателем эффективности  $\mathcal{E}_A$ , который зависит от параметров РПС и является функцией нескольких переменных

$$\mathcal{E}_A = f(N, f_i, P_i, h_i, (x_i, y_i)), \quad i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где  $f_i$ ,  $P_i$ ,  $h_i$ ,  $(x_i, y_i)$  – частота, мощность, высота подвеса антенны и координаты расположения  $i$ -ой РПС соответственно. Выбирая оптимальные значения этих параметров, получим оптимизированную сеть  $A'$ . В реальных условиях на значения параметров радиопередающих станций наложены ограничения.

Задача территориального планирования сети ТВ и звукового вещания как задача оптимизации по предложенному показателю эффективности может быть сформулирована следующим образом: найти такую сеть телерадиовещания  $A'$ , т.е. такой набор параметров РПС  $(N', f'_i, P'_i, h'_i, (x_i, y_i)')$ , где  $i = \overline{1, N'}$ , который удовлетворяет ограничениям и обладает при этом наилучшим значением показателя эффективности  $\mathcal{E}_A$

$$\mathcal{E}_A(A') = \mathcal{E}'_A = \max_{(N, f_i, P_i, h_i, (x_i, y_i), i = \overline{1, N})} \mathcal{E}_A(A), \quad (2)$$

при  $P_i < P_{\max}; h_i < h_{\max}; f_{\min} < f_i < f_{\max};$

$$(x_i, y_i) \in S; \quad i = \overline{1, N}.$$

Вид показателя эффективности  $\mathcal{E}_A$  может быть различным и формируется разработчиком сети телерадиовещания, исходя из технических требований, предъявляемых к данной сети. Некоторые варианты показателя  $\mathcal{E}_A$  и соответствующие им задачи частотно-территориального планирования были сформулированы в работах [1, 2].

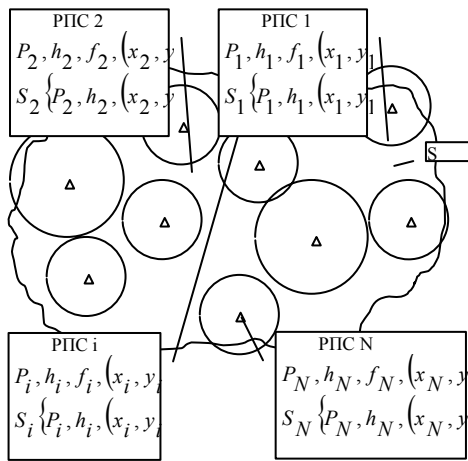


Рис.1. Сеть ТВ и звукового вещания

В публикациях [3,4] предложен метод оптимального размещения радиопередающих станций на обслуживаемой территории по различным критериям, построены функционалы качества для этих задач, приводится оценка эффективности методов оптимизации в задачах оптимального территориального планирования на примерах решения конкретных задач. В данной работе предлагаются функционалы качества в задачах оптимизации параметров сети телерадиовещания с учетом обеспечения требований электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, приводятся примеры решения поставленных задач.

### Задача оптимального территориального размещения радиопередающих станций по критерию максимума коэффициента покрытия

Решения задачи оптимального размещения РПС на обслуживаемой территории по критерию максимума коэффициента покрытия области  $S$  сигналами от РПС с учетом степени перекрытия зон обслуживания станций образуют множество  $Q$ , элементы которого содержат значения коэффициента покрытия, при которых выполняются требования ЭМС РПС

$$Q = \{q_n\} = \left\{ \bar{K} = \frac{\bar{V}_n}{V} \mid i = \overline{1, N}, \rho_0 \geq 0,5 \right\}, \quad (3)$$

где  $\rho_0$  - местная вероятность обеспечения приема для  $2(N-1)$  напряженностей полей помех [5];  $V$  - общее число точек, принадлежащих обслуживаемой территории;  $\bar{V}_n$  - величина, учитывающая степень перекрытия зон действия радиопередающих станций.

При решении задачи (3) для полезной и всех мешающих станций рассчитывается местная вероятность обеспечения приема. Если  $\rho_0 \geq 0,5$ , то полезная и мешающие станции совместимы и показатель эффективности соответствует коэффициенту покрытия обслуживаемой территории сигналами от РПС.

Если множество  $Q = \emptyset$  - пустое множество, т.е. условие электромагнитной совместимости

радиопередающих станций не выполняется  $\rho_0 < 0,5$ , то в этом случае показатель эффективности равен величине  $\rho_0$

$$\mathcal{E}'_A = \rho_0. \quad (4)$$

Варьируя координаты РПС  $(x_i, y_i)$  находим оптимальную сеть, которая имеет максимальное значение показателя эффективности

$$\mathcal{E}'_A = \bar{K}_{opt} = \max_Q \bar{K}, \quad (5)$$

$$\mathcal{E}'_A = \max_{(x_i, y_i)} \rho_0. \quad (6)$$

В результате решения данной задачи при выполнении условия ЭМС РЭС ( $\rho_0 \geq 0,5$ ) находится максимальное значение коэффициента покрытия области  $S$  сигналами от этих станций (5), иначе (при  $\rho_0 < 0,5$ ) находится такое расположение РПС, при котором значение местной вероятности обеспечения приема максимально (6).

Например, на рис.2 показано произвольное расположение пяти РПС на обслуживаемой территории  $S$ . Параметры станций занесены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры радиопередающих станций

№ РПС	$f$ , МГц	ТВК	СНЧ (Р,М)	$h$ , м	$P$ , Вт	КУ, дБ
1	175,25	6ТВ	8М	60	100	2
2	223,25	12ТВ	0	45	200	2
3	175,25	6ТВ	0	50	100	2
4	77,25	3ТВ	0	37,5	100	2
5	199,25	9ТВ	0	40	150	2

Следует отметить, что ТВ передатчики первой и третьей станций работают в совмещенных каналах, следовательно, они оказывают наиболее сильное мешающее воздействие и требуют наибольших значений защитных отношений. Показатель эффективности исходной сети соответствует величине местной вероятности обеспечения приема и равен  $\mathcal{E}'_A = \rho_0 = 0,202$ . Оптимальное расположение радиопередающих станций в области  $S$ , найденное с помощью методов циклического покоординатного поиска (ЦПС) и динамического программирования (ДП), приведено на рис.3 и рис.4 соответственно. Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

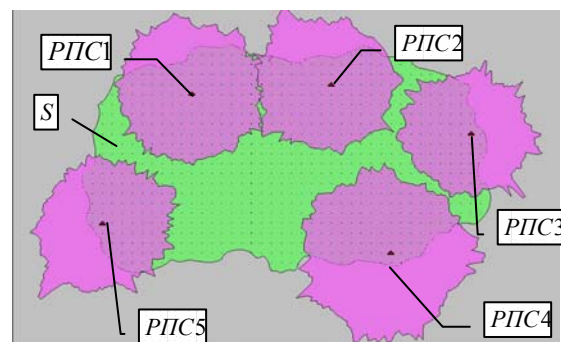


Рис.2. Начальное расположение РПС

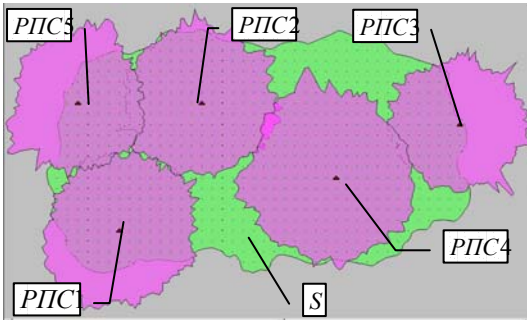


Рис.3. Оптимальное расположение РПС (метод ЦПС)

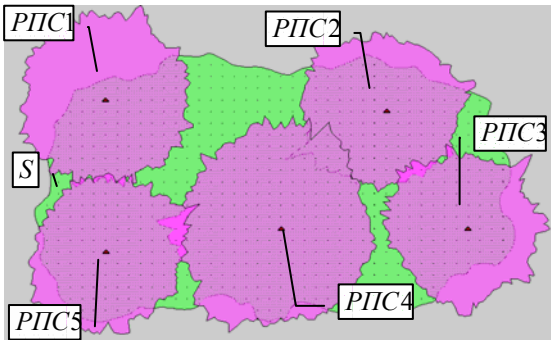


Рис.4. Оптимальное расположение РПС (метод ДП)

В результате решения данной задачи взаимно мешающие передатчики РПС1 и РПС3, работающие в совмещенных частотных каналах, территориально разнесены, при этом условие ЭМС РПС выполнено ( $\rho_0 \geq 0,5$ ), следовательно, находится максимальное значение коэффициента покрытия области  $S$  сигналами от этих станций.

Таблица 2. Результаты решения

Методы оптимизации	Показатель эффективности $\mathcal{E}'_A$	№ рисунка
ЦПС	0,790	3
ДП	0,801	4

Как видно из табл. 2 решения задачи, найденные при использовании различных методов оптимизации не сильно отличаются друг от друга. Наилучшее решение поставленной задачи с учетом электромагнитной совместимости радиопередающих станций обеспечивает метод динамического программирования.

#### Задача оптимального размещения радиопередающих станций на обслуживаемой территории по критерию минимальности суммарной мощности РПС

Решения задачи оптимального размещения фиксированного числа РПС -  $N$  в области  $S$  с учетом ЭМС, по критерию минимальности суммарной мощности РПС, образуют множество  $Q$ , элементы которого содержат суммарную мощность и

координаты размещения РПС  $(x_i, y_i)$ , при которых выполняются требования на покрытие сигналами радиопередающих станций заданной области  $S$  и ЭМС РЭС

$$Q = \{q_n\} = \left\{ \sum_i P_i(x_i, y_i) \mid i = \overline{1, N}, \rho_0 \geq 0,5, \frac{V_n}{V} = 1 \right\}, \quad (7)$$

где  $\rho_0$  - местная вероятность обеспечения приема для  $2(N-1)$  напряженностей полей помех;  $V$  - общее число точек, принадлежащих обслуживаемой территории;  $V_n$  - число точек обслуживаемой территории, в которых напряженность поля превышает минимально используемую напряженность поля хотя бы одной РПС.

Если множество  $Q = \emptyset$  - пустое множество (условие ЭМС РЭС не выполняется  $\rho_0 < 0,5$ ), то показатель эффективности сети телерадиовещания соответствует величине местной вероятности обеспечения приема  $\rho_0 = \mathcal{E}_A$ .

Оптимальным решением данной задачи является сеть с минимальным значением суммарной мощности  $P_{opt}$  (9) при  $\rho_0 \geq 0,5$ , иначе находится такое расположение радиопередающих станций, при котором значение местной вероятности обеспечения приема максимально (10)

$$\mathcal{E}'_A = P_{opt} = \min_Q \sum_{i=1}^N P_i, \quad \mathcal{E}_A = \max_{(x_i, y_i)} \rho_0. \quad (8)$$

Из условия задачи необходимо, чтобы обслуживаемая территория  $S$  была полностью покрыта сигналами от РПС. Это возможно только при частичном перекрытии зон обслуживания радиопередающих станций. В связи с тем, что при частотно-территориальном планировании станции, работающие в совмещенных и смежных частотных каналах, стараются не размещать в общей или соседних зонах, введем три дополнительные станции РПС6, РПС7, РПС8, работающих в дециметровом диапазоне волн. В этом случае помехи создают только РПС1 и РПС3, работающие в смежных частотных каналах. Начальное расположение радиопередающих станций на обслуживаемой территории показано на рис.5. Параметры РПС занесены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры радиопередающих станций

№ РПС	$f$ , МГц	ТВК	СНЧ (Р,М)	$h$ , м	$P$ , Вт	КУ, дБ
1	175,25	6ТВ	8М	60	100	2
2	223,25	12ТВ	0	60	200	2
3	183,25	7ТВ	0	60	100	2
4	77,25	3ТВ	0	60	100	2
5	199,25	9ТВ	0	60	150	2
6	471,25	21ТВ	0	60	5000	2
7	495,25	24ТВ	0	60	10000	2
8	575,25	34ТВ	0	60	15000	2

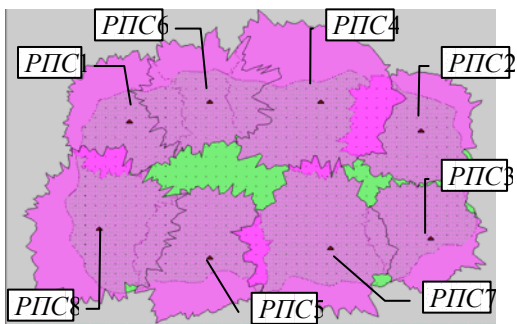


Рис.5. Начальное расположение РПС

Показатель эффективности исходной сети телерадиовещания равен  $\mathcal{E}_A = \sum_{i=1}^8 P_i = 30650 \text{ Вт}$ , однако при этом  $K = 0,84$ , т.е. условие  $S \subset \bigcup_{i=1}^N S_i \{P_i, h_i, (x_i, y_i)\}$  не выполняется. На каждом шаге итерации будем увеличивать мощность отдельной станции на величину  $\eta\%$ , равную 40%.

Оптимальное расположение РПС, при условии  $K = 1$ , найденное с помощью метода ЦПС с решением задачи одномерной оптимизации методом полного перебора показано на рис.6, методом золотого сечения рис.7. Результаты расчета сведены в табл.4.

Из рис. 6 и 7 видно, что зоны обслуживания радиопередающих станций, работающих в смежных частотных каналах, не перекрываются.

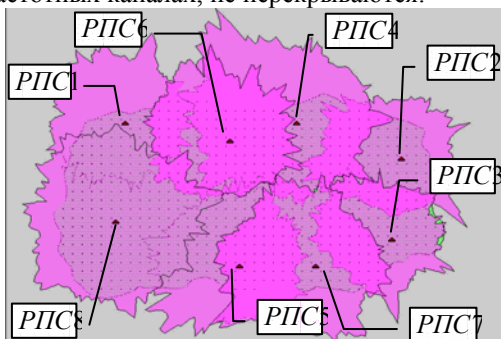


Рис.6. Оптимальное расположение РПС (метод полного перебора)

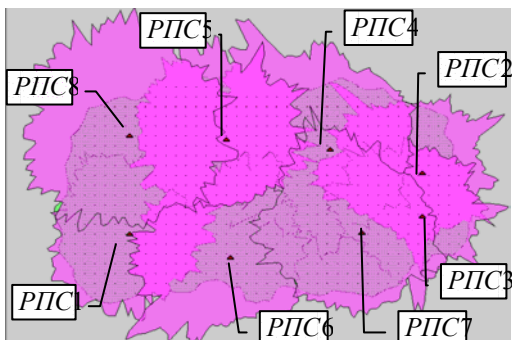


Рис.7. Оптимальное расположение РПС (метод золотого сечения)

Условие электромагнитной совместимости РПС выполнено, следовательно, находится минимальное значение суммарной мощности.

Таблица 4. Результаты решения

Методы оптимизации	Показатель эффективности $\mathcal{E}'_A, \text{Вт}$	№ рисунка
ЦПС (метод перебора)	117745,04	6
ЦПС (метод золотого сечения)	164841,856	7

Алгоритм численного поиска оптимального решения построен таким образом, что позволяет автоматически территориально разнести взаимно мешающие передатчики, оказывающие наиболее сильное мешающее воздействие приему ТВ и звуковых сигналов.

### Программный комплекс «Ресурс»

Программный комплекс «Ресурс» предназначен для оптимизации параметров сети телерадиовещания на этапе территориального планирования.

В программном обеспечении условно выделено три блока. Первый блок связан с использованием ГИС-технологий при решении задач оптимизации. В программном комплексе «Ресурс», разработанным на основе универсальной ГИС «Карта 2000», реализованы возможности этой системы, которые предоставляют удобный доступ к картографической информации.

При решении поставленных задач необходима информация о географических координатах установки радиопередающих станций, типах РПС, рабочих частотах, мощностях передатчиков, типах и высотах установки антенн, защитных отношений и др. хранится в соответствующих базах данных. Эти базы данных составляют второй блок программного обеспечения.

Первый и второй блоки используются на каждом этапе решения сформулированных задач.

В третий блок объединены алгоритм решения задач оптимизации и совокупность используемых при этом модулей.

Информация, содержащаяся в базах данных, методики расчета зоны обслуживания РПС и анализа электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств соответствуют требованиям Международного союза электросвязи.

Программный комплекс «Ресурс» используется в подразделениях Министерства связи Республики Татарстан, ОАО Проектно-производственном объединении «Татсвязьпроект» и Радиотелевизионном передающем центре при проектировании сетей связи и вещания. Этими предприятиями в различных точках Татарстана были проведены замеры напряженности электромагнитного поля от телевизионных радиопередающих станций. Сравнительный анализ полученных экспериментальных значений напряженности поля  $E_{изм}$  и значений напряженности

электромагнитного поля в этих же точках, рассчитанных с помощью программного комплекса «Ресурс»  $E_{расч}$ , позволяют сделать вывод о приемлемой на практике величине отклонения расчетного значения напряженности поля от измеренного.

Математическое ожидание величины отклонения расчетного значения напряженности поля от измеренного составляет

$$M = \frac{1}{125} \sum_{i=1}^{125} |E_{изм_i} - E_{расч_i}| = 6,3. \quad (9)$$

Среднее квадратическое отклонение разницы экспериментального и расчетного значений составляет

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{125} \sum_{i=1}^{125} (|E_{изм_i} - E_{расч_i}| - M)^2} = 4,8. \quad (10)$$

Разработанный программный комплекс также используется в учебном процессе Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева на кафедре радиоэлектронных и телекоммуникационных систем при подготовке студентов направления «Телекоммуникации» специальностей «Многоканальные телекоммуни-

кационные системы» и «Средства связи с подвижными объектами».

## Литература

1. Щербаков Г.И., Линдваль В.Р., Спирина Е.А. Частотно-территориальное планирование радиосредств связи и вещания на базе геоинформационных систем // Электронное приборостроение. Научно-практический сборник. Казань: КГТУ (КАИ), НИО «САН», 2002. – Выпуск 1(22).- С.11-17.
2. Спирина Е.А. Геоинформационные системы для частотно-территориального планирования средств связи и вещания // ISSN 1392 - 1215 Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2002. – No. 3(38).– P.59-62.
3. Щербаков Г.И., Линдваль В.Р., Спирина Е.А. Оптимизационный подход к решению задач частотно-территориального планирования сети телерадиовещания // Электронное приборостроение. Научно-практический сборник. – Казань: КГТУ (КАИ), НИО «САН», 2003. – Выпуск 5(33). – С.85-95.
4. Спирина Е.А., Щербаков Г.И., Линдваль В.Р. Оптимизация частотно-территориального планирования сетей телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания на базе геоинформационных технологий. <http://www.gisa.ru>.
5. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания: Справочник/ М.Г. Локшин, А.А. Шур, А.В. Кокорев, Р.А. Краснощеков. –М.: Радио и связь, 1988. – 144с.

Pateikta spaudai 2004 02 20

**G. I. Ščerbakov, V. R. Lindval, E. A. Spirina, M. A. Letaiaf. Radijo stočių teritorinio išdėstymo optimizavimo uždaviniai // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 3(52). –P. 47-51.**

Nurodoma, kad svarbiausias šiandien radijo stočių projektavimo uždavinys – jų optimalus išdėstymas. Šios problemos aktualumas nusakomas elektromagnetinių laukų suderinimu bei dažnio diapazono parinkimu. Labai dažnai, atsiradus naujai stociiai, reikia sukoreguoti kitų stočių parametrus. Pasiūlyti būdai, kaip minimaliomis lėšomis optimaliai suprojektuoti ryšių tinklą atsižvelgiant į vietos sąlygas. Aprašomas programų paketas „Resource“, kuris panaudotas Tatarstano Respublikoje planuojant optimalius radijo stočių tinklus. Il. 7, bibl. 5 (rusų kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**G. I. Ščerbakov, V. R. Lindval, E. A. Spirina, M.A. Letaiaf. The Decision of Problems of Optimization of Territorial Arrangement of the Radio-Transmitting Stations at Design of Transmission Networks // Electronics and Electrical Engineering. - Kaunas: Technologija, 2004. - №. 3(52). –P. 47-51.**

Nowadays telecommunication systems, including television and radio ones, are progressing intensely. Their further development needs handling the problem of an electromagnetic compatibility between all the radio-transmitting stations located in a certain territory and operating in common or adjacent frequency bands. To launch a new station or improve the performance of existing one, as a rule, some correction of characteristics of other stations needs to be done. This is why effective planning a network as a whole is of particular importance for rational use of its potentialities. The article is devoted to the problem of optimum planning broadcast networks with respect of best covering a determined territory at the minimal technical resources. Examples of such a solution computing by authors' program complex "Resource" are given. Ill. 7, bibl. 5 (in Russian; summaries in English and Russian).

**Г.И. Щербаков, В.Р. Линдваль, Е.А. Спирина, М.А. Летаяф. Решение задач оптимизации территориального размещения радиопередающих станций при проектировании сетей связи // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. - №3(52). – С. 47-51.**

В настоящее время бурными темпами развиваются системы и сети телекоммуникаций, в том числе телевизионного и звукового вещания. Развитие сети телерадиовещания требует разрешения такого вопроса, как обеспечение электромагнитной совместимости между радиопередающими станциями вещательной службы, между службами телевизионного и звукового вещания и другими службами, совместно использующими общие полосы частот. Подбор параметров для новой станции или изменение значений для действующей нередко сопряжен с необходимостью коррекции целого ряда параметров других радиовещательных станций. Для рационального использования параметров сети телевизионного и звукового вещания особую важность приобретает эффективное планирование данной сети. В работе исследуются проблемы, связанные с вопросами оптимального планирования сетей телевизионного и звукового вещания, учитывающих условия наилучшего покрытия территорий информационными каналами при минимальных технических затратах. В статье приведены примеры решение поставленных задач с использованием разработанного программного комплекса «Ресурс». Ил. 7, библи. 5 (на русском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).