

7. Евланов, М.В. Формализация взаимных отображений моделей информационных систем [Текст] / М.В. Евланов // Materialy IV Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji «Nowoczesnych naukowych osiagnie-2008». - 2008. Т.13. - Р. 82-85.
8. Standard Statistical Classifications: Basic Principles [Электронный ресурс] / by Eivind Hoffmann, Bureau of Statistics, International Labour Office and Mary Chamie, United Nations Statistics Division. - Режим доступа: <http://unstats.un.org/unsd/class/family/bestprac.pdf> – Загл. с экрана.
9. Сердюк, Н.Н. Оценка здоровья человека при совместном действии вредных производственных факторов [Текст] / Н.Н.Сердюк // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2010. № 17. - С. 46-50.
10. Баевский, Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии [Текст] / Р.М. Баевский. – М.: Медицина, 1979.- 286с.

*У статті розглянуті теоретичні і практичні особливості вживання методу аналізу ієрархій для вибору переважного варіанту стандарту в системі цифрового мовлення. Цей метод дає можливість формалізованого вибору оптимального проектного варіанту з врахуванням сукупності показників якості на основі суб'єктивних думок експертів*

*Ключові слова: стандарт, метод, модуляція, оптимізація, ієрархія, матриця, експерт*

*В статье рассмотрены теоретические и практические особенности применения метода анализа иерархий для выбора предпочтительного варианта стандарта в системе цифрового вещания. Этот метод дает возможность формализованного выбора оптимального проектного варианта с учетом совокупности показателей качества на основе субъективных суждений экспертов.*

*Ключевые слова: стандарт, метод, модуляція, оптимізація, ієрархія, матриця, експерт*

УДК 338.984

## СРАВНЕНИЕ СТАНДАРТОВ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

В. М. Безрук

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

Академик Академии Наук прикладной радиоэлектроники и Академии Связи Украины  
E-mail: bezruk@kture.kharkov.ua

Ю. В. Скорик

Аспирант\*

E-mail: Skorik\_Y@list.ru

\*Кафедра «Сети связи»

Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

### 1. Введение

В настоящее время существуют различные стандарты телевизионного вещания, каждый из которых характеризуется совокупностью противоречивых технико-экономических показателей [1 – 3]. Для выбора предпочтительного варианта стандарта и его реализация в сетях телевизионного вещания следует использовать методы многокритериального выбора оптимальных проектных вариантов [4 – 9].

В данной работе проанализированы и сравнены два стандарта цифрового телевизионного вещания: стандарт DVB-T с многочастотной модуляцией COFDM и стандарт ATSC с 8-уровневой одночастотной амплитудной модуляцией с подавленной боковой полосой ОБП-8Т [1 – 3]. Сравнение стандартов выполнено с учетом совокупности показателей качества методом Саати [10]. Приведены некоторые количественные результаты, характеризующие практические особенно-

сти применения метода Саати для выбора предпочтительного варианта телевизионного вещания.

### 2. Сравнительный анализ технических характеристик систем телевизионного вещания стандартов DVB-T и ATSC

Выполним анализ основных технических характеристик систем телевизионного вещания стандартов DVB-T и ATSC с учетом основных технических характеристик, которые будут выбраны в качестве показателей качества при сравнении указанных систем телевизионного вещания. При сравнительном анализе указанных систем использованы материалы работы [1].

Каждая система телевизионного вещания имеет свои преимущества и недостатки. В системе ATSC сигнал более устойчив в Гауссовом канале, менее чув-

ствителен к импульсным шумам, имеет меньшее отношение пиковой к средней мощности в канале, более подходит для реализации многочастотных сетей вещания (MFN). Обе системы примерно равноценны по влиянию помех от аналогового телевидения и по воздействию отраженных сигналов низкого уровня. DVB-T имеет преимущества в условиях сильных отражений (до 0 дБ мощности отраженного сигнала по сравнению с основным), при значительном запаздывании и опережении отраженного сигнала, при динамической многолучевости (изменяющейся во времени), она более пригодна для одночастотных сетей (SFN) и приема в движении [1].

**Отношение пиковой к средней мощности сигнала.** При прочих равных условиях ОБП-8Т имеет на 2,5 дБ более низкое отношение в 99,99% времени, что означает, что передатчик COFDM должен иметь больший запас по мощности.

**Многолучевое распространение.** ATSC имеет некоторое преимущество при приеме на направленную антенну, установленную высоко на крыше (уровень отраженной волны на 4...6 дБ ниже прямой), но совершенно теряет это преимущество при приеме на переносимые приемники и особенно в условиях динамической многолучевости.

**Прием внутри помещения.** Этот вопрос требует дальнейших исследований, но уже сейчас ясно, что только COFDM может обеспечить устойчивый прием на комнатную антенну.

**Прием в движении.** Как и для приема в помещении, только COFDM пригодна для приема на движущихся транспортных средствах. Это свойство подтверждено неоднократными испытаниями в трамваях, автомобилях и поездах на скоростях до 150 км/ч. Хорошим решением проблемы нехватки радиоканалов может служить иерархическая модуляция, позволяющая принимать в движении с пониженным качеством сигнал, передаваемый для стационарных приемников с высоким качеством.

**Эффективность использования спектра.** В режиме MFN некоторое преимущество имеет ATSC, так как из-за наличия защитного интервала скорость передачи в канале снижается на 24% ( $D = 1/4$ ), 19% ( $D = 1/8$ ), 10% ( $D = 1/16$ ) или 7% ( $D = 1/32$ ). Однако в режиме SFN преимущество DVB-T бесспорно [1].

**Импульсные шумы.** Теоретически COFDM должна бы иметь большую устойчивость к импульсным помехам вследствие усреднения коротких импульсов в процессе быстрого преобразования Фурье на приеме, однако канальное кодирование и перемежение тоже играют важную роль. Благодаря более глубокому перемежению ATSC лучше справляется с импульсными шумами и вызываемыми ими пакетными ошибками.

**Гармоническая помеха.** Благодаря многочастотному характеру COFDM наличие гармонической или узкополосной помехи разрушит лишь небольшое число несущих, и потеря данных будет незначительна. Для одночастотной ОБП-8Т влияние может оказаться более существенным и привести к закрытию глазковой диаграммы. Преимущество COFDM достигает 10 дБ.

**Помехи от аналоговых ТВ систем в совпадающем канале.** Хотя COFDM и ОБП-8Т используют разные механизмы для устранения влияния помехи, в целом обе системы успешно справляются с этой задачей.

**Помехи от цифрового телевидения в совпадающем канале.** Обе системы ведут себя как Гауссов белый шум, и помеха определяется отношением  $C/N$ . Преимущество имеет ОБП-8Т.

**Чувствительность к фазовым шумам.** Теоретически COFDM более чувствительна к фазовым шумам гетеродинов приемника, которые вызывают дополнительное вращение фазы парциальных несущих и размывают ансамбль сигналов.

**Иерархическая модуляция.** Способность к иерархической модуляции, бесспорно, очень важное свойство COFDM, которым не обладает ОБП-8Т. Потоки разного приоритета могут использоваться для вещания разных программ или одной и той же программы на разные части зоны обслуживания, или для разных категорий абонентов. Разница в значении  $C/N$  между потоками разных приоритетов должна быть не менее 10 дБ [2].

### 3. Особенности метода анализа иерархий

Метод анализа иерархий (МАИ) состоит в декомпозиции проблемы выбора оптимального проектного варианта на простые составляющие части и дальнейшей обработки численных данных суждений экспертов по парным сравнениям различных элементов проблемы выбора. В результате обработки полученных данных получают коэффициенты, характеризующие приоритетность выбора вариантов проектируемой системы. Эти коэффициенты могут быть использованы для формирования скалярной целевой функции в виде взвешенной суммы показателей качества проектных вариантов системы и последующего выбора единственного варианта [10].

Принцип декомпозиции предусматривает структурирование проблемы выбора в виде иерархии, что является первым этапом применения МАИ. В наиболее общем виде иерархия строится с вершины через промежуточные уровни к самому низкому уровню [10].

Принцип парных сравнительных суждений состоит в том, что объекты-критерии и объекты – альтернативы задачи многокритериальной оптимизации сравниваются попарно в отношении объектов одинаковой размерности. Результаты парных сравнений приводятся к матричной форме.

С использованием МАИ попарно сравниваются важности разных элементов  $\frac{w_i}{w_j}$  соответственно для вариантов систем  $A_i$  и  $A_j$  (рис. 1).

	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$
$A_1$	$\frac{w_1}{w_1}$	$\frac{w_1}{w_2}$		$\frac{w_1}{w_n}$
$A_2$	$\frac{w_2}{w_1}$	$\frac{w_2}{w_2}$	...	$\frac{w_2}{w_n}$
...		...		
$A_n$	$\frac{w_n}{w_1}$	$\frac{w_n}{w_2}$	...	$\frac{w_n}{w_n}$

Рис. 1. Матрица парных сравнений

Если  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  неизвестны заранее, то парные сравнения элементов производятся с использованием субъективных суждений экспертов, численно оцениваемых по шкале относительной важности элементов [10].

Чтобы получить вектор приоритетов сравниваемых систем необходимо выполнить некоторую обработку матрицы парных сравнений. С математической точки зрения эта задача обработки сводится к вычислению

главного собственного вектора, который после нормализации становится вектором приоритетов.

Рассмотрим особенности вычисления главного собственного вектора на примере сравнения относительной важности 12-ти показателей качества систем [10].

Основные вычислительные процедуры для получения оценки вектора приоритетов определяются соотношениями на рис. 2.

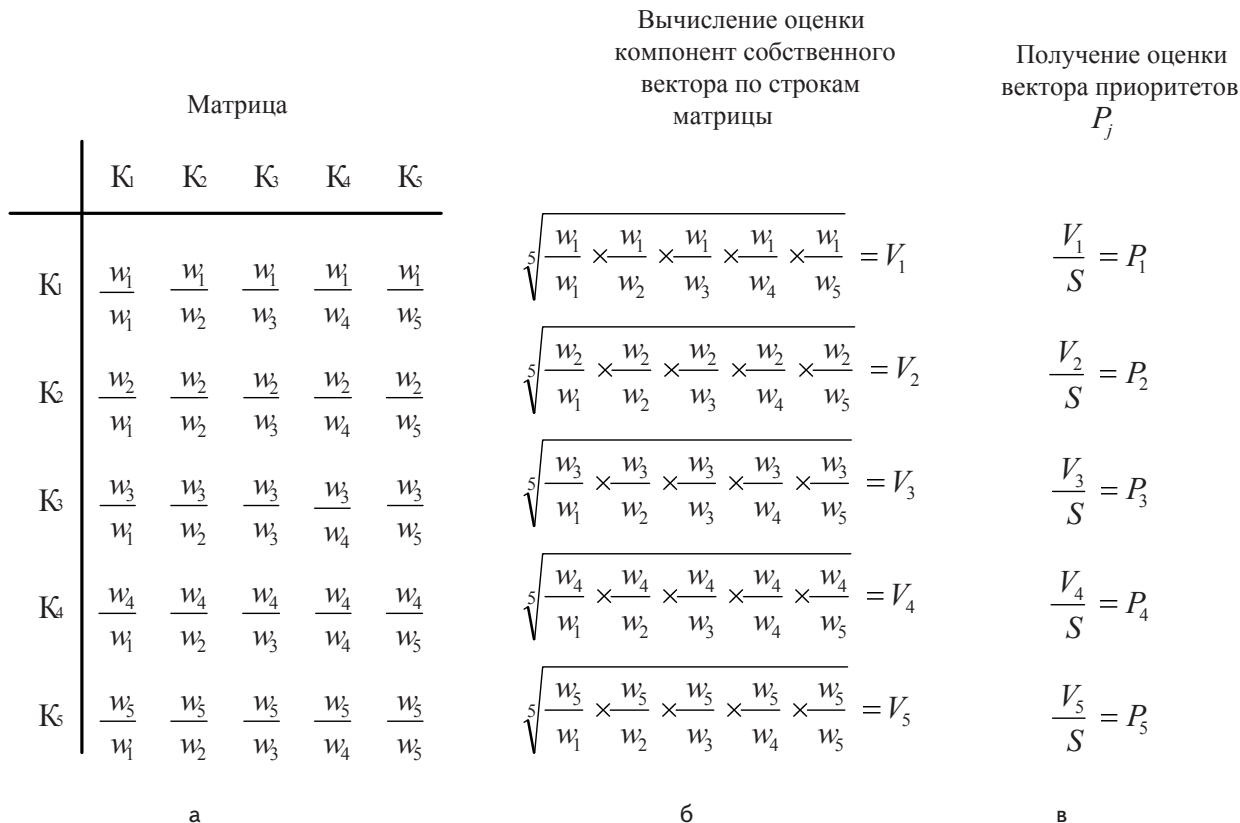


Рис. 2. Оценка вектора приоритетов: а – матрица, б – вычисление оценки компонент собственного вектора, в – получение оценки вектора приоритетов

Здесь  $\frac{w_i}{w_j} = a_{ij}$  - числовые оценки парных сравнений показателей качества,  $S = \sum_{i=1}^5 V_i$ .

Таким образом, согласно рис. 2, б, компоненты главного собственного вектора вычисляются как среднее геометрическое значение в строке матрицы парных сравнений

$$V_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = \overline{1, n}. \tag{1}$$

Компоненты вектора приоритетов согласно рис. 2, в вычисляются как нормированное значения главного собственного вектора

$$P_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad j = \overline{1, n}. \tag{2}$$

В качестве меры согласованности суждений эксперта рассматривают два показателя: индекс со-

гласованности ( $I_c$ ); отношение согласованности (ОС).

Из теории матриц известно, что согласованность обратно симметричной матрицы парных сравнений в шкале относительной важности эквивалентна требованию равенства ее максимального собственного значения  $\lambda_{max}$  и числа сравниваемых объектов ( $\lambda_{max} \geq n$ ).

Приближенные значения  $\lambda_{max}$  для оценки отношения согласованности можно рассчитывать по следующей формуле

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n M_j P_j, \tag{3}$$

где  $M_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$  - сумма элементов  $i$ -го столбца матрицы (рис. 2, а);  $P_j$  - компоненты вектора приоритетов анализируемой матрицы (рис. 2, а).

В качестве меры рассогласования рассматривают нормированное отклонение  $\lambda_{max}$  от  $n$ , называемое индексом согласованности

Таблица 1

$$I_c = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{4}$$

Для того, чтобы оценить, является ли полученное рассогласование приемлемым или нет, его сравнивают со случайным индексом  $C_{и}$  [10].

Получив в результате расчета по формуле (4) индекс согласованности и выбрав из табл. 2 случайный индекс для заданного порядка матрицы, рассчитывают отношение согласованности [10].

$$OC = \frac{I_c}{C_{и}} \tag{5}$$

Если величина  $OC \leq 0,15$ , то степень согласованности суждений эксперта следует считать приемлемой.

В противном случае эксперту рекомендуется пересмотреть свои суждения.

Для этого необходимо выявить те позиции в матрице суждений, которые вносят максимальный вклад в величину отношения согласованности, и попытаться изменить меру несогласованности в меньшую сторону.

**4. Практические особенности применения МАИ для выбора стандарта телевизионного вещания с учетом совокупности показателей качества**

Рассмотрим особенности применения метода анализа иерархий для выбора цифрового вещания стандарта DVB-T с многочастотной модуляцией COFDM и стандарта ATSC с 8-уровневой одночастотной амплитудной модуляцией [6].

Основные показатели качества для систем с ОБП-8Т и COFDM приведены в табл. 1.

Преимущество одной из систем в таблице отмечается кратным повторением значка + [1].

На рис. 3 показано иерархическое представление задачи выбора модуляции.

Сравнение систем с модуляцией COFDM и ОБП-8Т

Показатели качества		ОБП-8Т (ATSC)	COFDM (DVB-T и ISDB-T)
K1	Характеристика системы в Гауссовом канале, дБ сигнал-шум	14,8	15,2
K2	Иерархическая модуляция	нет	да
K3	Многолучевое распространение		
	статическая многолучевость антенна на крыше	+	-
	переносные приемники	-	++
	динамическая многолучевость	-	+++
K4	Прием внутри помещения	-	+++
K5	Прием в движении	-	+++
K6	Эффективность использования спектра		
	MFN	+	-
	SFN	-	+++
K7	Импульсные шумы	++	-
K8	Гармоническая помеха	-	++
K9	Помехи от аналоговых ТВ систем в совпадающем канале	одинаково	одинаково
K10	Помехи от цифрового телевидения в совпадающем канале	++	-
K11	Чувствительность к фазовым шумам	++	-
K12	Помехи аналоговым системам	низкие	средние

Построим матрицу парных сравнений (табл. 2) для совокупности показателей качества, т.е. со второго уровня иерархии (на первом уровне цель - выбор системы, на третьем - альтернативы).

Для заполнения табл. 2 с помощью опытного эксперта выполнены парные сравнение важности показателей качества.

Диагональ этой матрицы заполнена значениями "1", а элементы матрицы, лежащие ниже диагонали, заполнены обратными значениями.

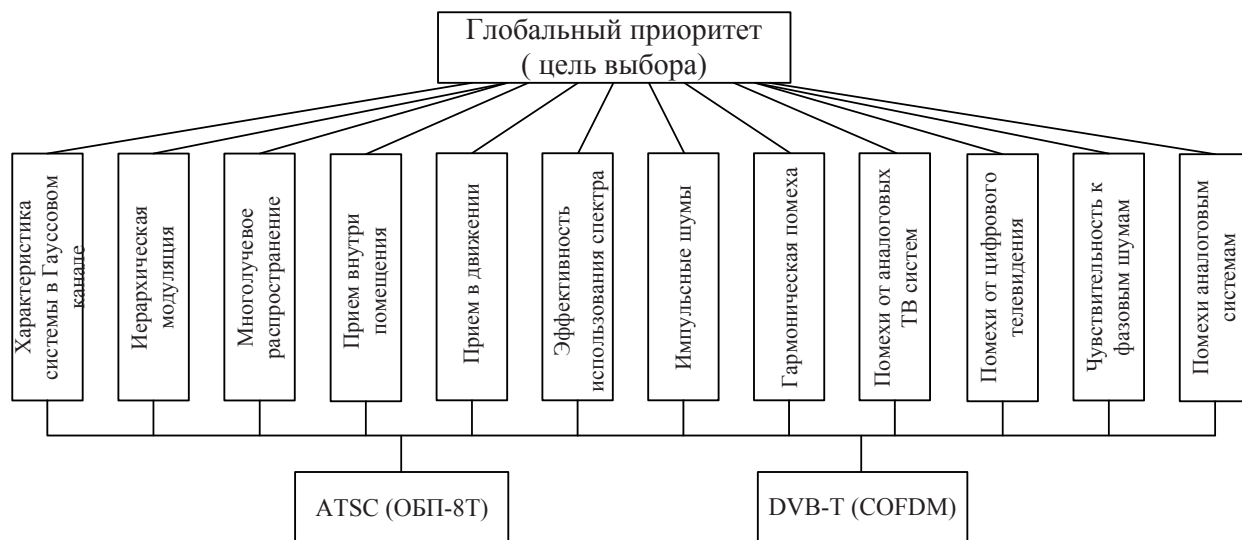


Рис. 3. Декомпозиция задачи выбора в иерархию сравнения систем с разными видами модуляции

В табл. 2 приведены вычисленные согласно рис. 2, б оценки компонент собственного вектора. По значениям компонент собственного вектора получены согласно рис. 2, в оценки компонент вектора приоритетов.

Далее выполнены парные сравнения на III уровне

иерархии. В частности, выполнены парные сравнения двух стандартов по отношению к их параметрам.

В результате обработки полученных матриц парных сравнений вычислены по описанной ранее методике собственные векторы и векторы приоритетов.

Таблица 2

Парные сравнение показателей качества систем

Показатели качества	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	Собственный вектор	Вектор приоритетов
K1	1	3	5	7	7	5	3	5	5	5	5	7	4,3679	0,2413
K2	1/3	1	3	5	5	3	4	7	7	7	5	5	3,4213	0,1891
K3	1/5	1/3	1	5	5	3	3	3	5	5	7	7	2,4835	0,1372
K4	1/7	1/5	1/5	1	4	6	5	3	3	5	3	5	1,6677	0,0921
K5	1/7	1/5	1/5	1/4	1	4	3	7	7	5	3	5	1,4123	0,0781
K6	1/5	1/3	1/3	1/6	1/4	1	5	3	3	3	5	7	1,1307	0,0624
K7	1/3	1/4	1/3	1/5	1/3	1/5	1	3	5	5	5	7	0,9974	0,0551
K8	1/5	1/7	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	1	5	3	5	7	1,0087	0,0557
K9	1/5	1/7	1/5	1/3	1/7	1/3	1/5	1/5	1	6	3	5	0,6381	0,0353
K10	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/6	1	4	2	0,3708	0,0205
K11	1/5	1/5	1/7	1/3	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3	1/4	1	3	0,3225	0,0178
K12	1/7	1/5	1/7	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/5	1/2	1/3	1	0,2789	0,0154
													18,0998	

Для примера в табл. 3 приведена матрица парных сравнений стандарта ОБП-8Т (ATSC) и стандарта COFDM (DVB-T и ISDB-T) по отношению к характеристике системы в Гауссовом канале, а также соответствующего ей собственного вектора и вектора приоритетов.

Полученные оценки векторов приоритетов  $\vec{P}_j$ ,  $j=1,5$  в качестве столбцов приведены в табл. 4.

В табл. 4 приведены также полученные ранее компоненты вектора приоритетов показателей качества P.

С их использованием вычислены значения компонент глобального вектора приоритетов C, которые приведены в табл. 4.

$$\vec{C} = \vec{P} \vec{P}_j, \tag{6}$$

$$C_j = \sum_{i=1}^5 P_i P_{ij}, j = \overline{1,2}.$$

Таблица 3

Парные сравнение систем по отношению к характеристике системы в Гауссовом канале

Характеристика системы в Гауссовом канале	ОБП-8Т (ATSC)	COFDM (DVB-T и ISDB-T)	Собственный вектор	Вектор приоритетов
ОБП-8Т (ATSC)	1	1/7	0,378	0,125
COFDM (DVB-T и ISDB-T)	7	1	2,646	0,875

Таблица 4

Результаты вычисления значения глобального вектора приоритетов

Показатели качества	Вектор приоритетов показателей качества	ОБП-8Т (ATSC)	COFDM (DVB-T и ISDB-T)
K1	0,2413	0,125	0,875
K2	0,1891	0,099	0,9
K3	0,1372	0,25	0,75
K4	0,0921	0,099	0,9
K5	0,0781	0,099	0,9
K6	0,0624	0,167	0,833
K7	0,0551	0,833	0,167
K8	0,0557	0,125	0,875
K9	0,0353	0,334	0,666
K10	0,0205	0,875	0,125
K11	0,0178	0,833	0,167
K12	0,0154	0,833	0,167
Значение компонент вектора приоритетов		0,2211	0,7789

По максимальному значению компонент вектора глобальных приоритетов C (табл. 4) выбираем систему с многочастотной модуляцией COFDM для европейского стандарта цифрового вещания DVB-T.

---

## 5. Выводы

---

В данной статье рассмотрены теоретические и практические особенности применения метода анализа иерархий для выбора предпочтительного варианта стандарта в системе цифрового вещания. На примере 2-х систем телевизионного вещания с видами модуляции COFDM и ОБП-8Т, которые характеризуются 12 показателями качества: характеристика системы в Гауссовом канале, дБ сигнал-шум, иерархическая модуляция, многолучевое распространение, прием внутри помещения, прием в движении, эффективность использования спектра, импульсные шумы, гармоническая помеха, помехи от аналоговых ТВ систем в совпадающем канале, помехи от цифрового телевидения в совпадающем канале, чувствительность к фазовым шумам, помехи аналоговым системам.

Рассмотрен метод анализа иерархий, который дает возможность формализованного выбора оптимального проектного варианта с учетом совокупности показателей качества на основе субъективных суждений экспертов.

В результате опроса экспертов сформированы матрицы парных сравнений показателей качества, а также речевых кодеков. После обработки суждений экспертов были вычислены оценки соответствующих собственных векторов и векторов приоритетов для различных уровней иерархии сравнения модуляции. Эти оценки были использованы для вычисления значений компонент глобального вектора приоритетов. Согласно методу анализа иерархий по максимальному значению компоненты глобального вектора приоритетов выбран предпочтительный стандарт телевизионного вещания DVB-T с много-частотной модуляцией COFDM.

---

## Литература

1. Локшин, Б.А. Сравнение видов модуляции в наземном цифровом вещании [Текст] / Б.А. Локшин // Теле-Спутник. – 2001. – 3(65).
2. Dr.Yiyan, Wu. Transmission Systems for Terrestrial DTV Broadcasting [Text]/ Wu Yiyan //NAB'2000 Broadcast Engineering Conference Proceedings. – 2000. – pp. 3-14.
3. Варгаузин, В.А. Сравнительная характеристика европейского и американского стандартов цифрового наземного телевидения [Текст] / В.А. Варгаузин, А. Артамонов // Теле-Спутник. – 1999. – №11. – С. 52-56.
4. Айзерман, М. А. Выбор вариантов: основы теории [Текст]/ М. А. Айзерман, Ф. Т. Алескеров. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1990. – 240 с.
5. Мушик, Э.Методы принятия технических решений [Текст] : Пер. с нем./ Э. Мушик, П. Мюллер – М.: Мир, 1990. – 208 с.
6. Брахтман, Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике [Текст]/ Т. Р. Брахтман . – М.: Радио, 1984. – 326 с.
7. Ногин, В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход [Текст] / В.Д. Ногин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 176 с.
8. Bezruk, V.M. Multicriterion optimization in telecommunication networks planning, designing and controlling [Text] / V.M. Bezruk, A.N. Bukhanko, D.V. Chebotareva, V.V. Varich // Open Book "Telecommunications Networks". - Chapter 11. – Rijeka: INTECH, 2012. – pp. 251 – 274.
9. Безрук, В. М. Выбор оптимальных речевых кодеков для сетей IP-телефонии с учетом совокупности показателей качества [Текст]/ В. М. Безрук, Ю. В. Скорик // Радиотехника. – Харьков, 2009. – №159. – С. 243-248.
10. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст]/ Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224с.