

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПРОЕКТНЫХ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 3 и 4 ПОКОЛЕНИЯ

Безрук В.М., Чеботарева Д.В., Скорик Ю.В.

1. Общая характеристика задач многокритериального выбора оптимальных проектных решений

Рассмотрим особенности многокритериального выбора оптимальных проектных решений с учетом совокупности показателей качества на основе применения методов многокритериальной оптимизации [1-8]. Считают, что выбор оптимальных проектных решений выполняет некоторое лицо, принимающее решение (ЛПР), которое преследует вполне определенные цели. В зависимости от конкретной ситуации в роли ЛПР может выступать как отдельный человек (инженер-проектировщик), так и целый коллектив (группа специалистов, занятая решением задачи проектирования системы).

Каждое возможное проектное решение характеризуется определенной степенью достижения поставленной цели. В соответствии с этим у ЛПР имеется свое представление о достоинствах и недостатках проектных решений, на основании которого одно решение предпочитается другому. Оптимальное проектное решение – это решение, которое с точки зрения ЛПР предпочтительнее других возможных решений. Таким образом, понятие оптимального решения связано с предпочтениями ЛПР. Формализация задачи принятия оптимальных проектных решений и состоит в выборе математических средств, которые помогли бы ЛПР наиболее полно и точно выразить свои предпочтения в рамках соответствующей математической модели выбора. Это позволит сформулировать соответствующую оптимизационную задачу и в конечном итоге обосновано выбирать действительно оптимальные проектные решения.

Предпочтения ЛПР на практике выражаются в различной форме и их математическая формализация может составить непростую задачу. Это связано с тем, что ЛПР, как правило, не может ясно и четко сформулировать свои предпочтения в таком виде, чтобы их можно было описать некоторыми математическими категориями и применить некоторую формализованную процедуру выбора оптимальных вариантов системы.

Таким образом, оптимальное проектное решение – это наилучшее решение, которое с точки зрения ЛПР предпочтительнее других проектных решений. Задание критерия оптимальности для выбора наилучших решений из множества допустимых проектных решений связано с формализацией понимания ЛПР про оптимальность проектных решений. При этом существуют два подхода к определению понятия оптимальности решений: ординалистический и кардиналистический.

Ординалистический подход к определению понятия оптимальности решений апеллирует к порядку (лучше-хуже) и основан на введении понятия бинарных отношений, что позволяет формализовать операции попарного сравнения альтернатив и выбора оптимальных решений. В частном случае, когда при выборе «наилучших» (оптимальных) решений ЛПР руководствуется отношением строгого предпочтения \succ , из всего из множества возможных решений X выделяются решения, недоминируемые по этому бинарному отношению. В множество оптимальных по отношению строгого предпочтения \succ решений включают такие решения $x^{(0)} \in X$, для которых не существует других предпочтительных решений $x \in X$, чтобы было справедливо бинарное отношение $x \succ x^{(0)}$. Это множество называется множеством Парето-оптимальных решений, которое обозначается через $\text{opt}_{\succ} X$ или $P(X)$. Остальные решения являются безусловно худшими, поскольку для них имеются более предпочтительные альтернативные решения. Они удаляются из множества X , поскольку их заведомо нельзя считать оптимальными. В результате исключения из множества X безусловно худших решений по бинарному отношению \succ останутся только те оптимальные решения, для которых выполняется отношение неразличимости.

Кардиналистический подход к определению понятия оптимальности решений основан на введении некоторой целевой функции $f(x)$, значение которой интерпретируется как полезность (ценность) решения x и оно определяет предпочтение ЛПР. Выбранная целевая функция задает соответствующее отношение порядка на множестве X . Значение целевой функции $f(x)$ является индикатором предпочтения ЛПР. В частности, при задании скалярной целевой функции считается, что решение x' предпочтительнее альтернативного решения x'' тогда и только тогда, когда выполняется условие $f(x') \geq f(x'')$. При таком подходе может быть задана формализованная процедура выбора оптимальных решений $x^{(0)}$ из условия экстремума целевой функции $f(x)$ на множестве X .

Однако из-за недостаточно строгой определенности представления ЛПР про оптимальность проектных решений часто не удается задать скалярную целевую функцию и соответствующий скалярный критерий оптимальности. Поэтому решения характеризуют векторной целевой функцией, включающей совокупностью частных целевых функций $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$, которые определяют полезность (ценность) решения x с точки зрения разных требований. В зависимости от содержания задачи выбора эти функции называют критериями оптимальности, критериями эффективности, целевыми функциями, показателями или критериями качества системы. Совокупность целевых функций образуют векторный критерий оптимальности

$$\vec{f}(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)), \quad (1)$$

который принимает значения в пространстве m -мерных векторов R^m .

В случае введения векторной целевой функции (1), наряду с множеством допустимых решений X , рассматривают множество соответствующих им оценок значений этой векторной функции

$$Y = \vec{f}(X) = \{\vec{y} \in Y \mid \vec{y} = \vec{f}(x), x \in X\}, Y \subset R^m, \quad (2)$$

которое называют также множеством векторных оценок или критериальным пространством. При этом возникают более сложные задачи оптимизации проектных решений по совокупности показателей качества, которые называются задачами многокритериальной оптимизации

$$x^{(0)} = \arg \underset{x \in X}{\text{extrem}} [\vec{f}(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))] \quad (3)$$

В многокритериальной оптимизационной задаче (3) возможны следующие варианты: частные целевые функции независимы между собой; функции связаны между собой и являются согласованными; функции связаны между собой и являются антагонистическими. В первых двух случаях оптимизационная задача (3) сводится к совокупности независимых скалярных оптимизационных задач для частных целевых функций. В последнем случае, который встречается часто в практических приложениях проектирования, такая оптимизационная задача сводится к нахождению компромисса - согласованного экстремума частных целевых функций. Этот компромисс означает, что дальнейшее улучшения значения каждой целевой функции может быть достигнуто лишь за счет ухудшения значений других целевых функций. В результате этого находится множество решений, оптимальных по совокупности показателей качества решений, отражающих значения целевых функций. Соответствующие решения $x^{(0)} \in X$ называют Парето-оптимальными (оптимальными по Парето) относительно векторной целевой функции $\vec{f}(x)$. Множество всех таких решений обозначают через $P_{\vec{f}}(X)$.

Каждому решению $x \in X$ соответствует одна векторная оценка $\vec{y} = \vec{f}(x) \in Y$. С другой стороны, каждой оценке отвечают альтернативные решения $x \in X$ (их может быть и более одного), для которых $\vec{f}(x) = \vec{y}$. Таким образом, между множествами X и Y имеется тесная связь и поэтому выбор решения из множества X в указанном смысле равносильен выбору соответствующей оценки в критериальном пространстве Y .

Для векторных оценок \vec{y}' и \vec{y}'' на множестве Y можно рассматривать разные типы бинарных отношений между оценками. В частности, широко используются такие бинарные отношения:

– отношение нестрогого предпочтения, называемое также отношением Парето $\vec{f}(x') \geq \vec{f}(x'')$. Оно означает, что $f_i(x') \geq f_i(x'')$, $i = \overline{1, m}$ и по крайней мере для одного i выполняется строгое неравенство;

– отношение строгого предпочтения, называемое также отношением Слейтера $\vec{f}(x') > \vec{f}(x'')$, что означает $f_i(x') > f_i(x'')$, для всех $i = \overline{1, m}$.

Следует отметить, что отношение нестрогого предпочтения \geq , которое имеет место для векторных оценок, превращается при $m=1$ в отношение строгого неравенства $>$ для скалярных оценок. При этом Парето-оптимальная оценка совпадает с максимальным элементом множества R^1 , которому отвечает экстремум скалярной целевой функции $f(x)$. Таким образом, понятие Парето-оптимальности следует рассматривать как обобщение понятия экстремума на случай нескольких целевых функций. При этом оптимум по Парето – это согласованный оптимум связанных между собой и конкурирующих между собой целевых функций.

Важнейшим инструментом решения многокритериальных задач оптимизации является принцип Эджворта–Парето (принцип Парето) [7]. Принцип Эджворта-Парето формулируется в виде утверждения о том, что множество выбираемых решений содержится лишь в подмножестве Парето-оптимальных решений. Иначе говоря, каждое выбираемое разумно решение является Парето-оптимальным. Применение принципа Эджворта-Парето позволяет из множества всех возможных исключить заведомо неприемлемые решения, т. е. те, которые никогда не могут оказаться выбранными, если выбор осуществляется достаточно «разумно». После такого исключения остается множество, которое называют множеством Парето или областью компромиссов.

Парето-оптимальные проектные решения могут быть найдены как непосредственно на исходном множестве X с применением введенных бинарных отношений предпочтения, так и в критериальном пространстве оценок значений целевых функций Y . Отношению строгого предпочтения \succ на множестве X соответствует отношение нестрогого предпочтения \geq на множестве Y . Для любых двух решений $x', x'' \in X$, для которых выполняется векторное неравенство $\vec{f}(x') \geq \vec{f}(x'')$, всегда имеет место отношение $x' \succ x''$.

Выбор Парето-оптимальных решений. Существуют разные методы нахождения подмножества Парето-оптимальных решений, в частности, метод последовательных уступок, метод рабочих характеристик, весовой метод, которые фактически сводят решение задачи многокритериальной оптимизации к решению совокупности задач скалярной оптимизации [6-8]. В настоящей работе для нахождения подмножества Парето-оптимальных решений использован метод дискретного выбора, который применяется,

когда множество X является дискретным и имеет конечную мощность. В этом методе включение решений $x^{(o)}$ в подмножество Парето $x^{(o)} \in P_f(X)$ имеет место тогда и только тогда, когда не существует других альтернативных решений $x \in X$, чтобы выполнялось неравенство $\vec{f}(x) \geq \vec{f}(x^{(o)})$. Формализованная процедура нахождения подмножества Парето-оптимальных оценок, которые соответствуют недоминируемым проектным решениям определяется соотношением

$$P(Y) = \text{opt}_{\geq} Y = \{ \vec{f}(x^o) \in Y : \exists \vec{f}(x) \in Y : \vec{f}(x) \geq \vec{f}(x^o) \} \quad (4)$$

При нахождении подмножества Парето-оптимальных оценок, согласно процедуре (4), исключаются безусловно худшие оценки, а следовательно, и соответствующие им безусловно худшие проектные решения из множества X . Выбранным Парето-оптимальным проектным решениям соответствует потенциально возможное значение каждой из целевых функций, которое может быть достигнуто при фиксированных, но произвольных значениях других целевых функций. Это свойство m -кратного согласованного экстремума векторной целевой функции. Совокупность таких оптимальных значений целевых функций определяет потенциальные значения соответствующих показателей качества системы и называются многомерными потенциальными характеристиками системы.

Сужение множество Парето-оптимальных решений до единственного варианта. Как правило, множество Парето-оптимальных решений является достаточно широким и в процессе многокритериального выбора оптимальных решений неизбежно возникает вопрос о том, какое именно единственное возможное решение выбрать среди Парето-оптимальных [1]. В принципе все Парето-оптимальные решения являются несравнимыми между собой. Поэтому существует проблема сужения множества Парето, связанная с выбором того или иного Парето-оптимального варианта в качестве «наилучшего». Сужение множества Парето до единственного решения может быть осуществлено только при наличии дополнительной информации о предпочтениях ЛПР относительно проектных вариантов системы.

Для выбора единственного предпочтительного проектного варианта системы с учетом совокупности показателей качества могут быть использованы разные методы, которые базируются, в частности, на основных положениях теории полезности, теории нечетких множеств, теории лексографических отношений [6-8]. В настоящей работе для выбора единственного предпочтительного проектного варианта системы использован метод анализа иерархий [5], в котором используется исходная дополнительная информация от экспертов в виде результатов попарного сравнения проектных вариантов и показателей качества систем.

Метод анализа иерархий (МАИ) состоит в декомпозиции проблемы выбора единственного предпочтительного варианта системы на простые

составляющие части и получении суждений экспертов по парным сравнениям различных элементов проблемы выбора. В результате обработки полученных численных данных суждений экспертов формируется матрица парных сравнений. Для этой матрицы вычисляется главный собственный вектор и согласно определенной математической процедуры получают компоненты глобального вектора приоритетов, компоненты которого характеризуют приоритетность выбора вариантов проектируемой системы. Единственному предпочтительному варианту системы из заданного множества вариантов соответствует максимальное значение компонент глобального вектора приоритетов.

Принцип декомпозиции предусматривает структурирование проблемы выбора в виде иерархии уровней с вершины (цель выбора) через промежуточные уровни (показатели качества системы) к самому низкому уровню (альтернативные варианты построения системы).

Принцип сравнительных суждений экспертов в МАИ состоит в том, что объекты проблемы выбора сравниваются экспертами попарно по важности. Попарно сравниваются важности разных вариантов систем (на уровне 3) и разных показателей качества (на уровне 2). Результаты парных сравнений элементов приводятся к матричной форме

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} \\ \dots & & & \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $a_{ij} = \frac{w_s}{w_j}$ – оценки парных сравнений элементов выбора.

Оценки парных сравнений элементов a_{ij} находятся с использованием субъективных суждений экспертов, численно определяемых по шкале относительной важности элементов. Диагональ этой матрицы заполняется значениями "1", а элементы матрицы, лежащие ниже диагонали, заполняются соответствующими обратными значениями.

Далее выполняется некоторая обработка сформированных матриц парных сравнений элементов иерархий (5) на уровнях 2 и 3 проблемы выбора. С математической точки зрения эта задача обработки сводится к вычислению главного собственного вектора, соответствующего максимальному собственному значению матрицы.

В частности, вычисляются компоненты главного собственного вектора для матрицы парных сравнений показателей качества как среднее геометрическое значение в строке матрицы парных сравнений [5]

$$V_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где n – число показателей качества проектных решений.

Через компоненты главного собственного вектора вычисляются соответствующие компоненты вектора приоритетов показателей качества как нормированные значения

$$P_j = \frac{V_j}{S}, \quad j = \overline{1, n}, \quad \text{где } S = \sum_{j=1}^n V_j. \quad (7)$$

Аналогично находятся оценки матриц парных сравнений вариантов систем на уровне 3 в отдельности по отношению к каждому показателю качества системы. На основе этих матриц вычисляются компоненты соответствующих главных собственных векторов и векторов приоритетов систем \vec{Q}_j по отношению к отдельным показателям качества систем.

С использованием полученных данных вычисляются значения компонент вектора глобальных приоритетов \vec{C} согласно [5]

$$C_i = \sum_{j=1}^n P_j Q_{ij}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (8)$$

где N - число сравниваемых вариантов систем.

По максимальному значению компонент вектора глобальных приоритетов (8) выбирается соответствующий предпочтительный вариант системы.

2. Многокритериальный выбор вариантов СМС 3-го поколения

Была поставлена и решена следующая задача выбора оптимальных вариантов СМС на этапе номинального планирования [9,10]. Для планируемой СМС третьего поколения стандарта UMTS задано некоторое множество возможных вариантов построения сети. Необходимо было найти подмножество Парето-оптимальных проектных решений с учетом совокупности показателей качества, а затем выполнить сужение подмножества Парето до единственного предпочтительного варианта СМС.

Выбор подмножество Парето-оптимальных вариантов СМС. Для решения поставленной задачи было сформировано множество из 10 вариантов построения СМС стандарта UMTS, которые определялись различными исходными данными, в качестве которых использовались: планируемое количество абонентов в сети, плотность обслуживаемой территории, предполагаемая активность абонентов, допустимая вероятность блокировки вызова.

Для заданных исходных данных были рассчитаны значения показателей качества для каждого из 10 вариантов СМС. При решении оптимизационной задачи среди всех показателей качества были выбраны показателя качества, которые характеризуют соответственно вероятность блокировки ($P_{бл}$), плотность обслуживаемых абонентов (N_a/S_0) и

необходимое количество базовых станций в сети (N_{BTS}). Абсолютные значения этих показателей качества и нормированные к их максимальным значениям (соответственно $k_{1н}$, $k_{2н}$ и $k_{3н}$) представлены в табл. 1.

При нахождении подмножества Парето-оптимальных оценок, согласно формальной процедуре (4), исключаются безусловно худшие оценки, а следовательно, и соответствующие им безусловно худшие проектные решения из множества X . Выбранные Парето-оптимальные проектные решения являются нехудшими по отношению нестрогого предпочтения. В рассмотренном примере подмножество Парето-оптимальных вариантов включало 5 вариантов построения СМС - 1П, 5(П), 8(П), 9(П), 10(П). Остальные 5 вариантов СМС оказались безусловно худшими и были исключены из дальнейшего рассмотрения.

Таблица 1

№ варианта СМС	Рассчитанные значения показателей качества					
	($P_{бл}$)	(N_a/S_0)	(N_{BTS})	$k_{1н}$	$k_{2н}$	$k_{3н}$
1 (П)	0,1	166	11	1	0,135	0,458
2	0,05	133	15	0,5	0,307	0,625
3	0,05	160	24	0,5	0,166	1
4	0,09	172	18	0,9	0,104	0,75
5 (П)	0,07	192	21	0,7	0	0,875
6	0,03	144	20	0,3	0,25	0,833
7	0,04	140	19	0,4	0,271	0,791
8 (П)	0,04	142	15	0,4	0,26	0,625
9 (П)	0,02	183	18	0,2	0,047	0,75
10 (П)	0,02	189	22	0,2	0,015	0,916

Программная реализация многокритериального выбора оптимальных вариантов СМС. Для многокритериального выбора оптимальных проектных решений была разработана программа МСО (Multi Criterial Optimization). Программа МСО реализована на языке Java. Интерфейс программы многокритериального выбора проектных вариантов СМС показан на рис. 1. Программа решает следующие задачи: выбор и задание значений показателей качества для допустимых проектных вариантов, нормирование и приведение показателей качества к сопоставимому виду, выбор подмножества Парето-оптимальных вариантов с использованием метода дискретного выбора по безусловному критерию предпочтения Парето, сужение множества Парето до единственного проектного варианта построения сети с использованием методов на основе функций ценности или метода на основе лексикографических отношений.

Выбор единственного предпочтительного варианта СМС. Для выбора единственного предпочтительного варианта СМС 3-го поколения

из множества Парето-оптимальных был использован метод анализа иерархий [5].

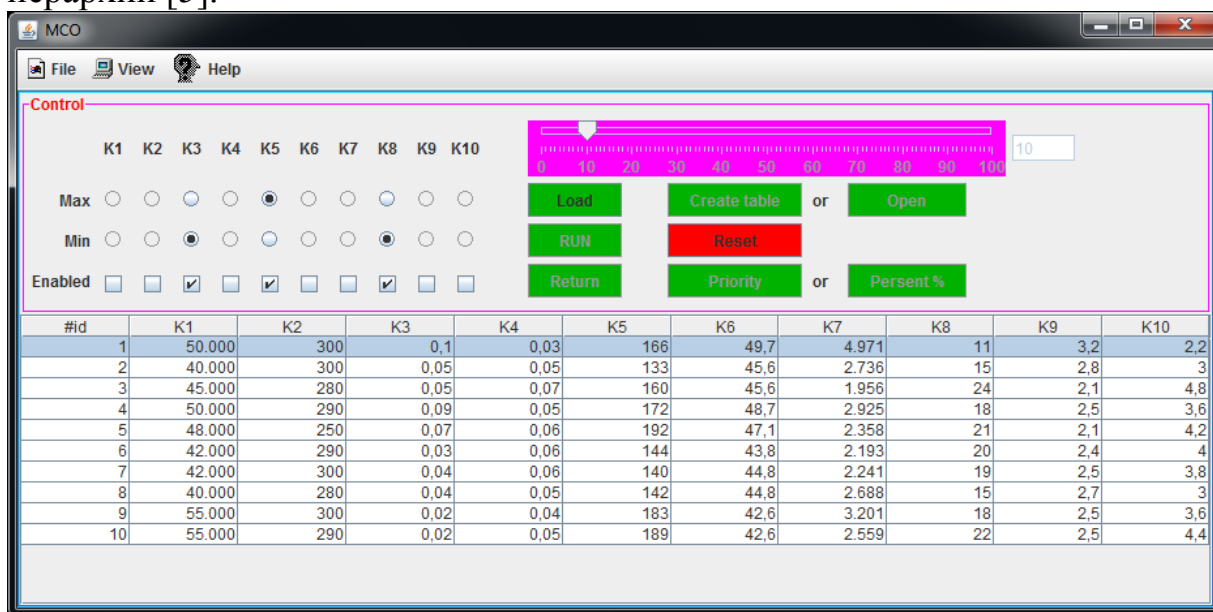


Рис. 1. Интерфейс программы многокритериального выбора проектных вариантов СМС

С использованием суждений экспертов построены матрицы парных сравнений для СМС на втором уровне иерархии (важности показателей качества), а также на третьем уровне (альтернативных вариантов систем по отношению к показателям качества - соответственно к вероятности блокировки, плотности обслуживаемых абонентов, количеству базовых станций). В результате обработки полученных матриц парных сравнений вычислены согласно (6) и (7) главные собственные векторы и векторы приоритетов.

Для примера в табл. 2 приведена матрица парных сравнений показателей качества и вычисленные оценки компонент главного собственного вектора и вектора приоритетов показателей качества. В табл. 3 приведена матрица парных сравнений вариантов СМС по отношению к вероятности блокировки и вычисленные оценки компонент главного собственного вектора и вектора приоритетов

Таблица 2

	K_1	K_2	K_3	V_j	P_j
K_1	1	5	3	2,464	0,6173
K_2	1/5	1	1/5	0,3424	0,0858
K_3	1/3	5	1	1,1854	0,297

В табл. 4 приведены вычисленные векторы приоритетов показателей качества и вариантов построения СМС по отношению к каждому

показателю качества, а также вычисленные согласно (8) компоненты вектора глобальных приоритетов \vec{C} (здесь N_i – номера вариантов СМС).

Таблица 3

	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	V_i	P_i
N_1	1	1/3	1/7	1/9	1/9	0,23	0,03
N_2	3	1	1/7	1/9	1/9	0,35	0,04
N_3	7	7	1	1/7	1/7	1	0,11
N_4	9	9	7	1	2	4,08	0,47
N_5	9	9	7	1/2	1	3,09	0,35

Таблица 4

СМС	P_{1i}	P_{2i}	P_{3i}	C_i
N_1	0,03	0,07	0,51	0,1779
N_2	0,04	0,45	0,07	0,0863
N_3	0,11	0,04	0,26	0,1498
N_4	0,47	0,16	0,12	0,3418
N_5	0,35	0,29	0,04	0,2551
P_j	0,62	0,09	0,3	

Максимальному значению компонент вектора \vec{C} соответствует предпочтительный вариант СМС (N_4), который характеризуется минимальной допустимой вероятностью блокировки $P_{\text{бл}} = 0,02$, плотностью обслуживаемых абонентов $N_a/S_0 = 183 \text{ аб./км}^2$ и количеством базовых станций $N_{\text{БТС}}=18$.

3. Выбор предпочтительной технологии систем мобильной связи 4-го поколения методом анализа иерархий

Для сравнительного анализа и многокритериального выбора предпочтительного варианта были рассмотрены следующие технологии мобильной связи 4-го поколения: HSPA, WiMAX и LTE [11]. Кратко приведем особенности этих технологий.

В результате развития систем мобильной связи была создана технология HSPA+ . В нисходящем канале ее отличает использование модуляции 64-QAM с SIMO (1x2) или 64-QAM с SIMO (2x2). В восходящем канале использована модуляция 64-QAM и улучшены возможности для VoIP. Поправки в соответствии с релизом 8 позволяют использовать в нисходящем канале режим MIMO (2x2) с модуляцией 64-QAM.

Системы мобильной связи с технологией WiMAX предназначены для предоставления сервисов как неподвижным, так и подвижным пользователям. Мобильный WiMAX (релиз 1.5) имеет сравнимые с HSPA+ (релиз 8) пиковые скорости в нисходящем канале при одинаковой модуляции, скорости кодирования и ширине канала. При этом у мобильного WiMAX в восходящем канале пиковая скорость выше в 2-3 раза. Мобильный WiMAX поддерживает ширину канала до 20 МГц, а также как частотное, так и временное дуплексирование. Его частотные профили планируются в диапазонах 700, 1700, 2300, 2500 и 3500 МГц. Мобильный WiMAX обеспечивает «гладкую IP - сеть» (из конца в конец).

Следующим шагом эволюции СМС 3GPP, являются системы Long Term Evolution (LTE). Их отличает использование модуляции OFDMA в нисходящем канале и SC-FDMA – в восходящем. Модуляция – 64-QAM, ширина канала – до 20 МГц, дуплексирование TDD и FDD. Применяются адаптивные антенные системы. Сетевая архитектура - полностью IP-сеть. В системе LTE применяются технологии и методы, уже применяемые в мобильном WiMAX. Системы LTE – это революционное улучшение СМС 3G. LTE представляет переход от систем CDMA к системам OFDMA, а также переход к полностью IP-системе с коммутацией пакетов. Поэтому внедрение этой технологии в существующих СМС означает необходимость обеспечения новых радиочастотных ресурсов для получения преимущества от широкополосного канала.

В табл. 5 представлены исходные значения показателей качества для разных стандартов СМС: K_1 - спектральная эффективность (нисходящий канал), K_2 - радиус действия, K_3 - скорость передачи данных. Показатели качества рассмотренных технологий СМС носят конкурирующий характер. Поэтому следует применять методы многокритериальной оптимизации для выбора предпочтительного варианта технологии СМС.

Таблица 5

Показатели качества	HSPA		WiMAX	LTE
	Релиз 7	Релиз 8	Релиз 1.5	
Спектральная эффективность, бит/Гц/с	0,87	1,75	1,59	1,57
Радиус действия, км	30	40	50	5
Скорость передачи, Мбит/с	21	35	48	75

Рассмотрим особенности применения метода анализа иерархий для выбора предпочтительного варианта технологии СМС 4-го поколения. На

рис. 2 показано иерархическое представление задачи выбора предпочтительного варианта СМС.

В табл. 6 приведены матрица парных сравнений показателей качества, а также вычисленные согласно (6) и (7) оценки компонент главного собственного вектора и вектора приоритетов показателей качества.

Далее с учетом суждений экспертов выполнены парные сравнения вариантов технологий на 3-м уровне иерархии. В частности, выполнены парные сравнения технологий СМС по отношению к выбранным показателям качества.

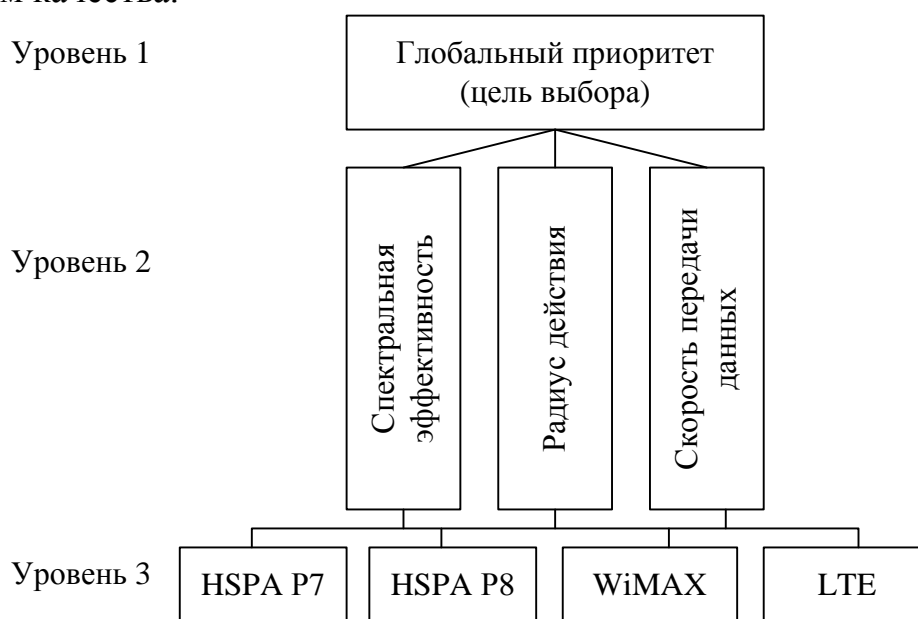


Рис. 2. Декомпозиция задачи выбора в иерархию технологий сетей мобильной связи

Таблица 6

	K_1	K_2	K_3	V_i	P_j
K_1	1	3	1/3	1	0,2584
K_2	1/3	1	1/5	0,4058	0,1049
K_3	3	5	1	2,464	0,6367

В результате обработки полученных матриц парных сравнений вычислены соответствующие главные собственные векторы и векторы приоритетов. Для примера в табл. 7, 8, 9 приведены матрицы парных сравнений вариантов технологий СМС по отношению к спектральной эффективности, радиусу действия, скорости передачи данных, а также вычисленные компоненты соответствующих главных собственных векторов и векторов приоритетов. С использованием вычисленных векторов приоритетов вычислены согласно (8) компоненты вектора глобальных приоритетов. Результаты вычислений приведены в табл. 10.

Таблица 7

	N_1	N_2	N_3	N_4	V_j	P_{1j}
N_1	1	1/5	1/5	1/5	0,299	0,057
N_2	5	1	3	3	2,59	0,4935
N_3	5	1/3	1	3	1,495	0,2849
N_4	5	1/3	1/3	1	0,863	0,1645

Таблица 8

	N_1	N_2	N_3	N_4	V_j	P_{2j}
N_1	1	1/3	1/5	5	0,76	0,1301
N_2	3	1	1/3	7	1,627	0,2785
N_3	5	3	1	7	3,201	0,5481
N_4	1/5	1/7	1/7	1	0,253	0,0433

Таблица 9

	N_1	N_2	N_3	N_4	V_j	P_{3j}
N_1	1	1/3	1/5	1/7	0,31	0,0433
N_2	3	1	1/3	1/5	0,67	0,0928
N_3	5	3	1	3	2,59	0,3593
N_4	7	5	5	1	3,64	0,5046

Таблица 10

СМС	P_{1i}	P_{2i}	P_{3i}	C_i
N_1	0,057	0,13	0,043	0,0553
N_2	0,494	0,279	0,093	0,2158
N_3	0,285	0,548	0,359	0,3586
N_4	0,165	0,043	0,505	0,3704
P_j	0,26	0,1	0,64	

Видно, что максимальному значению компоненты вектора глобальных приоритетов соответствует предпочтительный вариант технологии СМС 4-го поколения – N_4 . Это технология LTE со скоростью передачи данных 75 Мбит/с, спектральной эффективностью 1,57 бит/Гц/с и радиусом действия базовых станций 5 км.

Выводы

1. Приведена методология многокритериального выбора оптимальных проектных решений с учетом совокупности показателей

качества, который включает 2 этапа. На первом этапе на множестве возможных проектных решений выделяется множество Парето-оптимальных вариантов и исключаются из дальнейшего рассмотрения безусловно худшие решения. На втором этапе из множества Парето-оптимальных вариантов выбирается единственный предпочтительный вариант с использованием дополнительной информации от экспертов.

2. Рассмотрены примеры многокритериального выбора оптимальных проектных вариантов на этапе планирования систем мобильной связи 3-го и 4-го поколений. Парето-оптимальные варианты СМС найдены методом дискретного выбора. Единственный предпочтительный вариант из множества Парето-оптимальных выбран методом анализа иерархий.

Литература

1. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
2. Брахтман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике. – М.: Сов. радио, 1984. – 326 с.
3. Березовский Б.А., Многокритериальная оптимизация. Математические аспекты / Б.А. Березовский, Ю.М. Барышников, В.И. Борзенко, Л.М. Кепнер. – М.: Наука, 1986. – 128 с.
4. Дубов Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю.А. Дубов, С.И. Травкин, В.Н. Якимец. – М.: Наука, 1986. – 221 с.
5. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
6. Чернолуцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений. – СПб.: Издательство „Лань”, 2001. – 384 с.
7. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: Количественный подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 176 с.
8. Безрук В.М. Векторна оптимізація та статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку. – Харків: ХНУРЕ, 2002. – 164 с.
9. Чеботарёва Д.В. Многокритериальная оптимизация проектных решений при планировании сотовых сетей мобильной связи / Д.В. Чеботарёва, В.М. Безрук. – Харьков: Компания СМИТ, 2013. – 148 с.
10. Безрук В.М. Принятие оптимальных решений при планировании сетей мобильной связи с учетом совокупности показателей качества / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва // Радиотехника. – Харьков, 2014. – Вып.178. – С.119 – 130.
11. Безрук В. М. Применение метода анализа иерархий при выборе средств телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества / В. М. Безрук, Ю. В. Скорик // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков: ХНУРЭ, 2013. – С. 24-29.