УДК 621.391.3

Гороховський Є.П., здобувач; **Зіненко Ю.М.,** здобувач;
Крючкова Л.П., к.т.н.; **Борисенко І.І.,** к.т.н.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МОДИФІКОВАНИХ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

Gorohovskyy E.P., Zinenko Yu.M., Kryuchkova L.P., Borysenko I.I. Application of the modified characterization for the calculation of indicators of the quality management systems of telecommunications networks

Management system by telecommunications networks is intended for providing of the optimal use of all present equipment of network in any situations for providing of quality of maintenance of users. Important is a process of optimization of both control system and process of her planning, that is why the task of optimal synthesis of the systems appears with a management that provides necessary behavior of the system and satisfies to the criteria of management quality. The method of the modified performance, which allows the calculation of indicators of quality management systems, telecommunication networks. The synthesis problem reduces to finding the weight surface over the entire range of possible values of its arguments (k_{2B},...,k_{mB}), which coincides with the optimal surface, is none of the valid points better than (systems) are not to be missed. It is assumed that the values of the weighting coefficients specified, based on the conditions of the problem.

Keywords: telecommunication network management system, a modified operating characteristics, the weight surface.

Гороховський Є.П., Зіненко Ю.М., Крючкова Л.П., Борисенко І.І. Застосування методу модифікованих робочих характеристик для розрахунку показників якості систем управління телекомунікаційними мережами

Розглядається метод модифікованих робочих характеристик, який дозволяє розраховувати показники якості систем управління телекомунікаційними мережами. Задача синтезу зводиться до пошуку вагової поверхні у всій області можливих значень її аргументів (k_{2B},...,k_{mB}), яка збігається з оптимальною поверхнею, тобто жодна з допустимих негірших точок (систем) при цьому не буде пропущена. При цьому передбачається, що значень вагових коефіцієнтів уточнюється, виходячи з умови задачі.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, система управління, модифікована робоча характеристика, вагова поверхня.

Гороховский Е.П., Зиненко Ю.М., Крючкова Л.П., Борисенко И.И. Применение метода модифицированных рабочих характеристик для расчета показателей качества систем управления телекоммуникационными сетями

Рассматривается метод модифицированных рабочих характеристик, который позволяет рассчитывать показатели качества систем управления телекоммуникационными сетями. Задача синтеза сводится к поиску весовой поверхности во всей области возможных значений ее аргументов (k_{2B},...,k_{mB}), которая совпадает с оптимальной поверхностью, то есть ни одна из допустимых не худшая точек (систем) при этом не будет пропущена. При этом предполагается, что значения весовых коэффициентов уточняется, исходя из условия задачи.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, система управления, модифицированная рабочая характеристика, весовая поверхность.

Вступ

З розвитком інформаційних технологій загостюється питання процесу обробки та розподілу інформації в сучасних телекомунікаційних мережах. Контроль параметрів мережі, при високому навантаженні здійснюється системою управління. Підвищення ефективності системи управління телекомунікаційної мережі можливе за допомогою оцінки її показників якості, що обумовлює необхідність їх розрахунку [1].

Постановка задачі. Розв’язання задачі синтезу за показникам якості полягає в знаходженні такої СУ, яка компромісно оптимізує показники якості при обмеженні вхідних даних та спектра визначених умов. Метод модифікованих робочих характеристик було розглядаємо для m=2. При цьому він зводився до того, що визначається мінімум (за всіма можливими системами) радіуса-вектора $r = \sqrt{k1 + k2}$ при фіксованому, але довільному значенні відношення k_2/k_1, тобто визначали залежність

$$r_{min} = F_p(k_2/k_1) \quad (1)$$

де k_2/k_1 варіювалася в межах $0 < k_2/k_1 < \infty$.

Залежність (1), названа полярною робочою характеристикою, була знайдена при застосуванні полярних змінних r, k_2/k_1 і декартових змінних k_1 і k_2 за формулами

$$k_1 = r_{min}\left(k_1/\sqrt{k_1^2 + k_2^2}\right) = r_{min}/\sqrt{1 + (k_2/k_1)^2}/,$$
$$k_1 = k_1(k_2/k_1).$$

Отже, відповідні точки модифікованої робочої характеристики $\boldsymbol{k_1}=\int_{p.M}(\boldsymbol{k_2})$ є у декартових координатах аналогом полярної характеристики.

Модифікована робоча характеристика має ті самі основні властивості, що і звичайна робоча характеристика, а саме:

1. Вона містить всі негірші точки і, крім того, може містити гірші точки.
2. Монотонно спадна модифікована робоча характеристика не містить гірших точок.
3. Необхідною і достатньою умовою збігу модифікованої робочої характеристики з лівою нижньою границею є монотонно спадний характер цієї робочої характеристики [2,3].

Провівши аналогічні доведення для $m > 2$, можна одержати наступні результати, що є слушними при кожному (скінченному) значенні числа показників якості. Метод модифікованих характеристик полягає у відшуканні мінімуму (за всіма допустимими системами) радіуса-вектора

$$r = \sqrt{k_1^2 + k_2^2 + \cdots + k_m^2}$$

при фіксованих, але довільних значеннях відношень

$$\eta_1 = k_2/k_1, \eta_2 = k_3/k_1, \dots, \eta_{m-1} = k_m/k_1.$$

Варіюючи відношенням η_i, (i=1, m-1) у межах області, визначеної нерівностями

$$0 < \eta_i < \infty, i = \overline{1, m-1}.$$

Одержують залежність $r_{\min}$ від $\eta_{1,\dots,}\ \eta_{m-1}$, тобто залежність

$$r_{min} = F_p(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_{m-1}).$$

Ця залежність називається *полярною робочою поверхнею.* Відповідні точки *модифікованої робочої поверхні* знаходять переходом від змінних $(r_{min}, \eta_1 \dots, \eta_{m-1})$ до змінних $(k_1, k_2, \dots k_m)$ за формулами

$$\left.\begin{aligned} k_1 &= r_{min}/\sqrt{1 + \eta_1^2 + \eta_2^2 + \cdots + \eta_{m-1}^2}, \\ k_2 &= k_1\eta_1, k_3 = k_1\eta_2, \dots, k_m = k_1\eta_{m-1}. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Рівняння (2) можна розглядати як рівняння модифікованої робочої поверхні, записані в параметричному вигляді. Для одержання рівняння модифікованої робочої поверхні в явному вигляді треба знайти зі співвідношень (2) залежність одного (кожного) з показників якості (наприклад k_1) від всіх інших (*від* $k_2, \dots, k_m$), тобто залежність

$$k_1 = f_{p.M1}(k_2, k_3, \dots, k_m)$$

або

$$k_2 = f_{p.M2}(k_1, k_3, \dots, k_m).$$

Необхідною і достатньою умовою збігу модифікованої робочої поверхні (будь-якого вигляду) з оптимальною є її строга монотонність.

Ваговий метод відшукання множини $M_{НГ}$ заснований на мінімізації (за всіма $S \in M_Д$ або всіма $S \in M_{С.Д}$) зваженої суми показників якості

$$k_B = k_1 + a_1k_2 + a_2k_3 + \cdots + a_{m-1}k_m \quad (3)$$

при фіксованих, але довільних у межах

$$0 < a_i < \infty, i = \overline{1, m-1} \tag{4}$$

значеннях ваг a_i.

Нехай при деякій комбінації (a_i, ..., a_{m-1}) значень ваг знайдена система S_B ($a_{i,\ldots,}$ a_{m-1}), мінімізуюча величину k_B, і при цьому значення її показників якості дорівнюють k_{1B}, ..., k_{mB}, тобто

$$k_{B\,min} = k_{1B} + a_1 k_{2B} + \cdots + a_{m-1} k_{mB}$$

Відомо, що ця система є негіршою. Припустимо, що це твердження не є слушним, тобто система S_B ($a_{i,\ldots,}$ a_{m-1}) є гіршою. Тоді має існувати система S, що має менше значення хоча б одного з показників, наприклад k_1, при тих самих або менших значеннях інших показників якості, наприклад показників k_i,...,k_m. Це означає, що має існувати система S, в якій

$$k_1 < k_{1B}, k_2 \leq k_{2B}, \ldots, k_m < k_{mB}.$$

З урахуванням (3) це означає, що існує система в якій

$$k_B < k_{1B} + a_1 k_{2B} + \cdots + a_{m-1} k_{mB} = k_{B\,min}$$

Але це неможливо, оскільки за припущенням, $k_{B\,min}$ − це мінімально можливе (при даних значеннях ваг $a_{i,\ldots,}$ a_{m-1}) значення зваженої суми k_B. Отже, доведено, що при даних значеннях ваг $a_{i,\ldots,}$ a_{m-1} системи, кращої, ніж , S_B ($a_{i,\ldots,}$ a_{m-1}), не існує і, отже, система S_B ($a_{i,\ldots,}$ a_{m-1}) є негіршою.

Отже, будь-яка система S_B, знайдена ваговим методом, є негіршою. Таким чином, множина M_B усіх систем, знайдених ваговим методом (при варіаціях ваг $a_{i,\ldots,}$ a_{m-1} у межах (4)), є частиною множини $M_{НГ}$ негірших систем. З іншого боку, для $m = 2$, що при відшуканні систем ваговим методом частина негірших систем може бути пропущена. Отже, множина M_B може бути правильною частиною $M_{НГ}$ або повністю збігатися з нею.

Зважена сума показників якості може подаватися не у вигляді (3), а як

$$k_B = \lambda_1 k_1 + \lambda_2 k_2 + \cdots + \lambda_m k_m, \tag{5}$$

$$\lambda_i > 0, \sum_{i=1}^{m} \lambda_i = 1. \tag{6}$$

Але (5) може мати вигляд

$$k_B = \lambda_1 (k_1 + a_1 k_2 + \cdots + a_{m-1} k_m),$$

де

$$a_1 = \lambda/\lambda, \ldots, a_{m-1} = \lambda_m/\lambda_1. \tag{7}$$

Очевидно, якщо λ_i варіювати в межах (5), то значення ваги $a_{i,\ldots,}$ a_{m-1} визначені співвідношеннями (7), змінюватимуться в межах (4).

При відшуканні системи S_B, що мінімізує зважену суму (3) або (5), вагові коефіцієнти фіксовані. Оскільки в деякій системі S_B мінімальна зважена сума (3) є мінімальною, то буде мінімальною і зважена сума (5), і навпаки. Тому, відповідно до результатів синтезу, не має значення, в якому вигляді подати зважену суму − у вигляді співвідношень (3), (4) або у вигляді (5), (6). Однак у подальшому скористаємося лише записом вигляду (3), (4).

Отже, кожній комбінації ($a_{1,\ldots,}$ a_{m-1}) значень вагових коефіцієнтів відповідає деяка негірша система S_B ($a_{1,\ldots,}$ a_{m-1}). Їй відповідають значення k_{1B},...,k_{mB}, показників якості k_1, ..., k_m, що у загальному випадку також залежать від значень вагових коефіцієнтів, тобто

$$\left.\begin{array}{c} k_{1B} = f_{1B}(a_1, \ldots, a_{m-1}) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ k_{mB} = f_{mB}(a_1, \ldots, a_{m-1}). \end{array}\right\} \tag{8}$$

Співвідношення (8) можна розглядати як систему з m рівнянь з m -1 невідомим $a_{1,\ldots,}$ a_{m-1}. Виключивши ці невідомі, одержимо залежність, що зв'язує один з показників якості, наприклад k_{1B}, з іншим m -1 показником, наприклад

$$k_{1B} = f_B(k_{2B}, \dots, k_{mB}). \qquad (9)$$

Цю залежність називатимемо *ваговою поверхнею*. При m = 2 вона вироджується в лінію, а при m = 3 має вигляд поверхні в тривимірному просторі.

Кожна комбінація $k_{1В},...,k_{mВ}$ показників якості відповідає деякій негіршій системі $S_В$ тому з доведеного вище співвідношення між множинами $M_В$ і $M_{НГ}$ випливає, що вагова поверхня (9) є частиною оптимальної поверхні або збігається з нею.

Оскільки для оптимальної поверхні характерна строга монотонність, то вона характерна і ваговій поверхні. Це означає, що всі відповідні вагові поверхні (9), вагові характеристики, тобто характеристики є монотонно спадними функціями.

$$\left.\begin{array}{c} k_{1B} = f_B\left(k_{2B}, \underline{k_{3B}, \dots, k_{mB}}\right) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ k_{1B} = f_B\left(k_{2B}, k_{3B}, \dots, k_{(m-1)B}, k_{mB}\right), \end{array}\right\}$$

Доведено, що при виконанні деяких умов регулярності, опуклості і замкнутості множина $M_{НГ}$ міститься у замкненій області $[M_В]$ множини $M_В$. Це означає, що при виконанні зазначених умов множини $M_В$ і $M_{НГ}$ збігаються, за винятком деяких граничних точок. Однак попередня перевірка виконання відповідних умов регулярності, опуклості і замкнутості може бути іноді пов'язана з деякими труднощами. З іншого боку, у більшості реальних задач ці умови виконуються.

Тому можна рекомендувати такий метод перевірки збігу множини $M_В$ із $M_{НГ.}$

Нехай унаслідок синтезу ваговим методом знайдена вагова поверхня (9). Якщо вона є визначеною (існуючою) у всій області можливих (або важливих для нас) значень її аргументів ($k_{2В},...,k_{mВ}$), то в цій області вона цілком збігається з оптимальною поверхнею, тобто жодна з допустимих (або важливих для нас) негірших точок (систем) при цьому не буде пропущена. Слушність цього положення обумовлена тим, що будь-яка точка вагової поверхні є негіршою і при кожному сполученні аргументів ($k_{2В},...,k_{mВ}$) може існувати тільки одне значення функції (оскільки в протилежному випадку при тому самому сполученні аргументів $k_2,...,k_m$ мають існувати дві негірші точки з різними значеннями показника k_1, що неможливо, тому що при цьому одна з цих точок була б безумовно гіршою).

За викладеним можна узагальнити такі основні властивості вагового методу.

1. Будь-яка система $S_В$ ($a_{1,....,}$ a_{m-1})., знайдена ваговим методом, є негіршою.

2. У загальному випадку ваговий метод не дає змоги знайти всі важливі для нас негірші системи. Однак, якщо вагова поверхня (9) є визначеною (існуючою, знайденою) у всій області можливих (або важливих для нас) значень $k_2,...,k_m$, вона в цій області збігається із шуканою оптимальною поверхнею, тобто жодна з важливих для нас негірших систем не буде пропущена.

Розглянемо тепер деякі додаткові властивості вагового методу. По-перше, проводячи міркування для m = 2, можна довести, що необхідною і достатньою умовою виродженості множини $M_{НГ}$ є незалежність результатів синтезу, отриманих ваговим методом (системи $S_В$ ($a_{1,....,}$ a_{m-1}), її показників якості від значень ваг $a_{1,....,}$ a_{m-1}). При виконанні цієї умови множина $M_{НГ}$ має всього одну систему $S_В$, яка є не тільки негіршою, але і найкращою, що має найкращі значення всіх показників якості $k_1,...,k_m$.

По-друге, зазначимо наступну додаткову властивість будь-якої негіршої системи, знайденої ваговим методом: кожна система $S_В$ ($a_{1,....,}$ a_{m-1}) забезпечує мінімум суми будь-якого числа n виразів. При цьому мінімум суми п виразів, що складаються, забезпечується при значеннях вхідних у нього ваг, які дорівнюють відповідним значенням ваг системи $S_В$ ($a_{1,....,}$ a_{m-1}).

Нехай, наприклад, $k_В = k_1 + a_1k_2 + a_2k_3 + a_3k_4$ (тобто m = 4), і існує система $S_В$ (3,5,2), яка має показники якості, що дорівнюють $k_{1В}$, $k_{2В}$, $k_{3В}$ і $k_{4В}$. Тоді ця система має мінімальне значення суми k_{1+} $3k_2$ серед усіх систем S є $M_Д$, що мають зважену суму $5k_3 + 2k_4$ показників якості, яка дорівнює $5k_{3В} + 2k_{4В}$, мінімальне значення суми $3k_2 + 5k_3$ при $k_1 + 2k_4 = k_{1В} + 2k_{4В}$, мінімальне значення величини k_4 при $k_1 + 3k_2 + 5k_3 = k_{1В} + 3k_В + 5k_{3В}$ тощо.

Нехай існує система $S_В$ (a_1, $a_{2…}$, $a_{mВ}$), що забезпечує мінімум зваженої суми (3) і має показники якості $k_{1В}$, $k_{2В,…}$, $k_{(m-1)В}$, $k_{mВ}$. Показано наприклад, що цій системі відповідає мінімальне значення зваженої суми показників якості за умови, що для іншої частини суми (3) виконується рівність

$$a_1k_2 + a_2k_3 + \cdots + a_{m-2}k_{m-1} = a_1k_{2B} + a_2k_{3B} + \cdots + a_{m-2}k_{(m-1)B}.$$

Це означає, що серед усіх систем $S_В$ (k_1,k_2,… $k_{(m-1)В}$, $k_{mВ}$) ϵ $M_Д$, не існує системи S', що має значення зваженої суми k_1 + $a_{m-1}k_m$ менше ніж $k_{1В}$ + $a_{m-1}k_{mВ}$.

Дійсно, якщо припустити, що така система S' існує то для неї виконуватиметься співвідношення

$$k_1 + a_{m-1}k_m + a_1k_2 + \cdots + a_{m-2}k_{m-1} < k_{1B} + a_{m-1}k_{mB} + \\ +a_1k_{2B} + a_2k_{3B} + \cdots + a_{m-2}k_{m-1B}.$$

Але ліва і права частини цієї нерівності дорівнюють значенням зваженої суми (3) для систем S' і S_B відповідно. Отже, значення зваженої суми (3) для системи S' менше, ніж для системи S_B. Але це суперечить вихідному припущенню, що $S_В$ ($a_{1,…}$, a_{m-1}) є системою, що забезпечує при даній комбінації значень ваг $a_{1,…}$, a_{m-1} мінімальне значення зваженої суми (3). Отже, система $S_В$ ($a_{1,…}$, a_{m-1}) дійсно має мінімальне значення зваженої суми k_1 + $a_{m-1}k_m$ серед всіх допустимих систем з таким самим значенням іншої частини суми (3) (при тих самих значеннях інших ваг).

Очевидно, що вони зберігаються, якщо з виразу (3) виділяти не суму k_1+$a_{m-1}k_m$, а будь-яку іншу частину цього виразу. Таким чином, сформульована вище додаткова властивість будь-якої негіршої системи, знайденої ваговим методом, дійсно має місце.

Звідси випливає, що тоді, коли вагова поверхня є повністю визначеною і, отже, такою, що збігається з оптимальною поверхнею, кожна з негірших точок (систем) має не тільки властивість m-кратного мінімуму, але і сформульовану вище додаткову властивість.

Комбіновані методи відшукання негірших систем розглянемо на прикладі синтезу за трьома показниками якості k_1,k_2 і k_3. Покладемо спочатку, що k_3 = const, і розв’яжемо задачу синтезу усього за двома показниками якості k_1,k_2, тобто знайдемо множину негірших точок (систем) у просторі m' показників, де $m' = m - 1 = 2$.

При m' = 2 геометричним місцем цієї множини буде деяка крива (рис. 1). Варіюючи значення фіксованого показника k_3 у всьому діапазоні його можливих (або важливих для нас) значень, ми одержимо деяку залежність

$$k_1 f'_{НГ}(k_2, \underline{k_3}), \tag{10}$$

яка в просторі m' показників може бути зображена у вигляді сукупності кривих, параметром яких є величина k_3 (рис. 2). Очевидно, кожній точці A цієї сукупності буде відповідати деяка система S.

Порівнюючи процедури добору точок (систем) при утворенні залежності (10) і при відшуканні оптимальної поверхні, доведемо, що множина M_k точок (систем), описуваних сукупністю кривих (рис. 2), містить шукану (при m = 3) множину $M_{НГ}$ негірших систем. При утворенні множини M_k від кожної вхідної в неї точки потрібна оптимальність лише відносно двох показників якості (k_1 *і* k_2) при фіксованому значенні показника k_3. При утворенні множини $M_{НГ}$ від кожної точки потрібна також оптимальність, але відносно всіх трьох показників якості k_1,k_2, k_3. Звідси випливає, що при утворенні множини M_k жодна негірша точка не буде відкинута (виключена з розгляду), але в неї можуть ввійти і деякі неґірші точки, що надалі мають бути відкинуті (виключені з розгляду). Тому можна стверджувати, що

$$M_k \supset M_{НГ},$$

що і потрібно було довести.

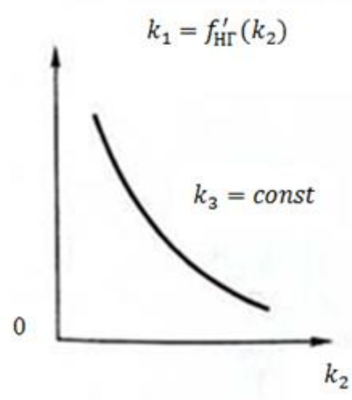

Рис.1 Геометрична крива множини негірших точок

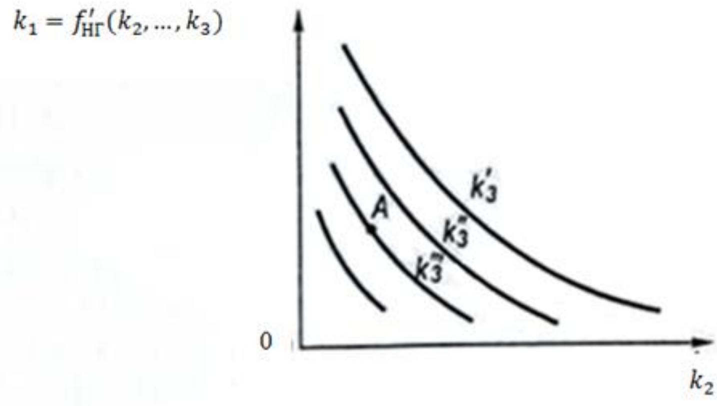

Рис.2 Геометричні криві множин негірших систем

З’ясуємо тепер, за яких умов множина M_k збігається з $M_{\text{НГ}}$ і, отже, відкидати гірші точки (системи) непотрібно. Побудуємо за рівнянням (10) залежність

$$k_1 = f'_{\text{НГ}}(\underline{k_2}, k_3) \tag{11}$$

що відрізняється від (10) лише тим, що при її побудові параметром функції $f'_{\text{НГ}}$ від двох змінних (k_2 *і* k_3) вважається не k_3, а k_2. Тоді, якщо ця залежність k_1 від k_3 є монотонно спадною в діапазоні всіх можливих (або важливих для нас) значень аргументу k_3 при всіх можливих (або важливих для нас) значеннях параметра k_2, то знайдена поверхня

$$k_1 = f'_{\text{НГ}}(k_2, k_3) \tag{12}$$

збігається з оптимальною поверхнею, тобто множина M_k збігається з $M_{\text{НГ}}$.

Для доведення цього твердження можна порівняти поверхню (8.39) з робочою поверхнею

$$k_{1\,min} = f_p(k_2, k_3). \tag{13}$$

Обидві поверхні (12) і (13) містять множину $M_{\text{НГ}}$ негірших систем і можуть містити гірші системи. Точки, що належать кожній з цих поверхонь, мають мінімальне значення показника k_x при даних k_2 і k_3. Відмінність поверхні (12) від (13) полягає лише в тому, що кожна її точка має, крім того, мінімальне значення показника k_2 при даних k_1 і k_3. Необхідною і достатньою умовою збігу робочої поверхні з оптимальною є строга монотонність робочої поверхні. Аналогічно можна довести, що необхідною і достатньою умовою збігу поверхні (12) з оптимальною також є строга монотонність поверхні (12), тобто строга монотонність залежностей (10) і (11).

Отже, ми з’ясували, що тоді і тільки тоді, коли залежність (11) (випливає з (10), якщо параметром вважати показник k_2 а не k_3) є монотонно спадною, поверхня (12) (випливає з (10), якщо показник к з вважати не параметром, а другим аргументом функції) збігається з оптимальною, тобто містить всі шукані негірші і притому тільки негірші системи.

Для випадку m показників аналогічно можна довести таке . Нехай система характеризується m показниками якості (m > 2) k_1, ..., k_m ; з них п показників (n < m - 1) переведені в розряд обмежень типу рівностей і проведений синтез лише для перших $m' = m$ - n показників (k_1, ..., k_m). При цьому отримане рівняння поверхні, оптимальної для m' показників при фіксованих значеннях інших п показників (тобто показників k_m + 1, ..., k_m):

$$k_1 = f'_{\text{НГ}}\left(k_2, \dots, k'_m, \underline{k'_{m+1}, \dots, k_m}\right) \tag{14}$$

Нехай залежність (12) знайдена для всіх можливих (або важливих для нас) комбінацій значень фіксованих показників k_{m+1}, ..., k_m Розглянемо тепер залежність (14) як функцію змінних k_{m+1}, ..., k_m при фіксованих значеннях змінних k_2,...,k'_m . Нехай ця залежність є строго монотонною при всіх можливих (або важливих для нас) комбінаціях значень фіксованих змінних $k_2,...,k'_m$ Тоді (і тільки тоді) залежність (12), розглянута як функція всіх m змінних $k_2,...,k'_m$, збігається з рівнянням оптимальної поверхні і, отже, дає оптимальний розв'язок задачі не тільки для перших m показників якості, але і для всіх т показників якості.

Розглянемо як ілюстрацію наступний приклад. Нехай потрібно зробити синтез бінарного виявляча повільно флюктуюючого сигналу на фоні нормального білого шуму за трьома показниками якості:

$$k_1 = P_{\text{ПР}}, k_2 = P_{\text{П.Т}}, k_3 = q$$

де $P_{ПР}$ і $P_{П.Т}$ − умовні ймовірності пропуску сигналу і помилкової тривоги відповідно; q − енергетичне відношення сигналу до шуму на вході. Нехай спочатку синтез проведений усього за двома показниками якості k_1 і k_2 при показнику k_3, переведеному в розряд обмежень типу рівностей (k_3=q=const). Це означає, що знайдено оптимальний зв'язок між показниками якості k_1 і k_2

$$P_{\text{ПР}} = f'_{\text{НГ}}(P_{\text{П.Т}}, \underline{q})$$

У важливому для нас діапазоні значень показників якості ($P_{П.Т} \leq 0,1$, $P_{ПР} \leq 0,1$):

$$P_{\text{ПР}} \approx [ln(1/P_{\text{П.Т}})]/\underline{q}. \tag{15}$$

Розглянемо тепер цю залежність як функцію третього показника якості k_3=q при фіксованому значенні другого показника $k_2 = P_{П.Т}$. Очевидно, вона є монотонно спадною: чим більше q, тим менше $P_{ПР}$ при будь-якому значенні показника $k_3 = P_{П.Т}$. При цьому відповідно до викладеного вище залежність (15) оптимальна не тільки відносно двох показників $P_{ПР}$ і $P_{П.Т}$, але і відносно всіх трьох показників $P_{ПР}$, $P_{П.Т}$ і q .

Розглянутий метод відшукання негірших систем можна розглядати як комбінований, якщо негірші системи для $m' = m - n$ показників якості шукати не методом робочих характеристик, а яким-небудь іншим, наприклад ваговим. Дійсно, метод робочих характеристик полягає в тому, що всі показники якості, крім одного, наприклад, крім k_1, переводять у розряд обмежень типу рівностей і шукають системи, завдяки яким показник k_1 при всіх можливих (або важливих для нас) комбінаціях значень фіксованих показників має мінімум. На відміну від цього в розглянутому вище методі в розряд обмежень типу рівностей переводять не m - 1, а n показників якості і відповідно оптимум шукають не за одним, а за m' показниками якості. Але якщо для обчислення оптимуму за m' показниками скористатися методом робочих характеристик, тобто перевести в Розряд обмежень (типу нерівностей) ще m' - 1 показник, то всього переводять у розряд обмежень $n + m' - 1 = m -1$ показник якості і, отже, викладений метод буде не комбінованим, а звичайним методом робочих характеристик. Якщо для знаходження негірших систем за m' показниками якості застосовувати не метод робочих характери, стик, а який-небудь інший, наприклад ваговий, то викладений вище метод можна розглядати як комбінацію методу робочих характери, стик з цим іншим, наприклад, ваговим.

Розглянемо переваги і недоліки комбінованого методу порівняно з методом робочих характеристик і ваговим. При методі робочих характеристик шукають систему S_P, оптимальну, для одного з показників якості k_1, ..., k_m при іншому m - 1 показнику, переведеному у розряд обмежень типу рівностей (і врахуванні вихідних даних {$У$, O_s, $\boldsymbol{K}$, O_k }). При комбінованому методі шукають множину систем негірших стосовно сукупності $m' = m - n$ показників якості (k_1, ..., k_m) при інших n показниках, переведених у розряд обмежень. При цьому, мабуть, $n > 1$ і відповідно $m \geq 3$ (оскільки в протилежному випадку комбінований метод збігається з методом робочих характеристик і, отже, вже не є комбінованим).

Звідси випливає, що перевагою комбінованого методу може бути менша кількість показників якості, переведених у розряд обмежень (оскільки $n > m$ -1), а недоліком − необхідність відшукання множини систем, негірших відносно $m - n$ показників якості (де $m - n > 1$), замість відшукання системи оптимальної відносно єдиного показника якості. Тому комбінований метод може спростити синтез лише тоді, коли переводять у розряд обмежень (типу рівностей) більшу кількість показників якості, що істотно ускладнює синтез, а відшукати множину систем, негірших стосовно m - n показників, легко. Один з таких випадків розглянутий у наступному розділі. Порівняємо тепер комбінований метод з ваговим. При ваговому методі жоден з показників якості не переводиться в розряд обмежень, але шукають множину систем, негірших за сукупність усіх m показників якості. Тому комбінований метод має переваги порівняно з ваговим, якщо переводять один або більше показників якості в розряд обмежень (типу рівностей), що спрощує розв’язання задачі синтезу. Це має місце, зокрема, якщо вдається одержати аналітичні вирази для m - n показників якості, в які інші n показників якості входять як параметри і, отже, ці n показників якості зручно вважати постійними, тобто переведеними в розряд обмежень типу рівностей.

Висновки

Доцільно застосовувати комбінований метод тоді, коли задачу синтезу за $m' = m - n$ показниками (при інших n показниках якості, переведених у розряд обмежень типу рівностей, тобто розглянутих як деякі фіксовані, але довільні параметри) вже розв’язано аналітично. Тоді застосування комбінованого методу дає змогу порівняно легко поширити розв’язання задачі синтезу за $m' = m - n$ показниками якості на розв’язання відповідної задачі синтезу за $m = m' + n$ показниками. Тобто, іноді комбінований метод дає змогу досить просто або навіть дуже просто поширити розв’язання задачі синтезу за невеликим числом m' показників якості на випадок більш складної задачі синтезу за m показниками якості, де $m > m'$.

Список використаної літератури

1. Беркман Л.Н., Крючкова Л.П., Борисенко І.І., Федюнін С.А. / Удосконалення процесів управління телекомунікаційними мережами за стандартом Telecommunications Management Network // Наукові записки УНДІЗ №1(41), Київ 2016, С. 5−13.

2. Системный анализ в управлении: Учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; Под ред. А.А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 368 с.

3. Методи оптимізації: Підручник для студентів вищих навч. закладів за напрямком «Телекомунікації» / В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман. - ДУТ, 2016. - 442 с.

Автори статті

Гороховський Євген Петрович - здобувач, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Зіненко Юрій Миколайович - здобувач, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Крючкова Лариса Петрівна – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри систем захисту інформації, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +38 067 538 03 23.
E-mail:alara54@ukr.net

Борисенко Ірина Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп’ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +38 096 797 86 76. E-mail: irinakyiv27@gmail.com

Authors of the article

Gorohovskyy Evgen Petrovych - Applicant, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Zinenko Yuriy Mykolayovych - Applicant, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kryuchkova Larisa Petrivna – candidate of science (technic), associate professor, professor of the Department of Information Protection Systems, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine, Tel. +38 067 538 03 23.
E-mail:alara54@ukr.net

Borysenko Iryna Ihorivna – candidate of science (technic), associate professor of department computer engineering, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 096 797 86 76. E-mail: irinakyiv27@gmail.com

Дата надходження в редакцію: 04.11.2016 р. Рецензент: д.т.н., проф. Л.Н. Беркман