

УДК 621.3

МЕТОДОЛОГІЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ НА ДОВКІЛЛЯ

Л. І. Камаєва, М. І. Михайлів, О. Г. Малько, Ю. С. Федорович

ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

В статті приведена методика определения экологической оценки влияния электроэнергетических объектов на окружающую среду

Method of determination of ecological influence of power objects on the environment has been offered in the article

Проблеми енергозабезпечення і збереження рівноваги функціонування природного середовища знаходяться у об'єктивному протиріччі, вирішення якого зводиться до знаходження оптимального співвідношення двох функціональних характеристик [1]:

- енергозабезпечення споживачів ($E_e \rightarrow \max$);
- антропогенне навантаження на довкілля ($A_{TH} \rightarrow \min$).

Тому з метою стабілізації зв'язків взаємодії енергетичних об'єктів з довкіллям, можливості імітації впливу на функціонування системи при змінах на структурному і функціональному рівнях, а також розробки стратегії по покращенню техногенної безпеки доцільно застосувати системотехнічні методи опису систем.

Положення системи "Енергетики" у загальній природній надсистемі у ракурсі техногенного впливу спрощено можна представити у вигляді структури, зображеної на рисунку 1. Очевидно, що ця структура є узагальненою, однак для нашого розгляду вона є достатньою.

Один з варіантів структурного синтезу системи "Енергетика" у контексті "Первинні енергетичні ресурси" – "Споживач" представлений на рисунку 2.

Кожна підсистема $S^{(i)}$ описується зовнішніми характеристиками: вектором входу $X^{(i)}$ і вектором виходу $Y^{(i)}$, а також внутрішньою характеристикою величин оператором перетворення T . Оператор перетворення визначає зв'язки між входом і виходом: $Y^{(i)} = TX^{(i)}$. У загальному оператор перетворення може представляти будь-яке відображення, але для первинного представлення системи доцільно використовувати у якості оператора – логічні (нормовані) співвідношення між координатами входу і виходу. У випадку логічного відображення, оператор T представляється матрицею розмірністю $m \times n$, де m – розмірність вектора виходу,

а n – розмірність вектора входу, де елемент $t_{ij} = 1$ якщо існує зв'язок між i -м виходом і j -м входом, і $t_{ij} = 0$ якщо такий зв'язок досить слабкий.

Загальна методика представлення системи на основі [2] наступна.

Замкнене коло зв'язків відображається системою векторних рівностей.

Нехай визначені структурні елементи системи S_i ($i = 1, N$), входи $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ і виходи

$y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im})$ кожного структурного елемента, а також зв'язки між елементами.

Залежність виходу y від входу x , для елемента однозначна і визначається операторним рівнянням:

$$y = TX \quad (1)$$

або функціональним рівнянням:

$$y(t) = f(t, x(t - \tau(t))),$$

де: f — неперервна і, хоча б, однократно диференційована функція; $\tau = \{\tau_i\}$ — вектор-функція запізень (часу перетворення). В окремому випадку, коли функції перетворення і затримки постійні, то

$$y(t) = f(x(t - \tau)).$$

Якщо один із типів елементів — "чиста затримка" на час τ , то

$$y(t) = x(t - \tau).$$

Передбачається, що в одному елементі затримки настільки малі, що (через гладкість f) за час максимальної затримки $\tau_m = \max\{\tau_i\}$ зміну y можна вважати лінійною

$$\Delta y(t) = f(x(t)) - f(x(t - \tau)) = f(x) \Delta x;$$

$$y(t) = \frac{\partial y(t)}{\partial t} \approx \frac{y(t) - y(t - \tau_m)}{\tau_m},$$

$$x(t) = \frac{\partial x(t)}{\partial t} \approx \frac{x(t) - x(t - \tau_m)}{\tau_m}.$$

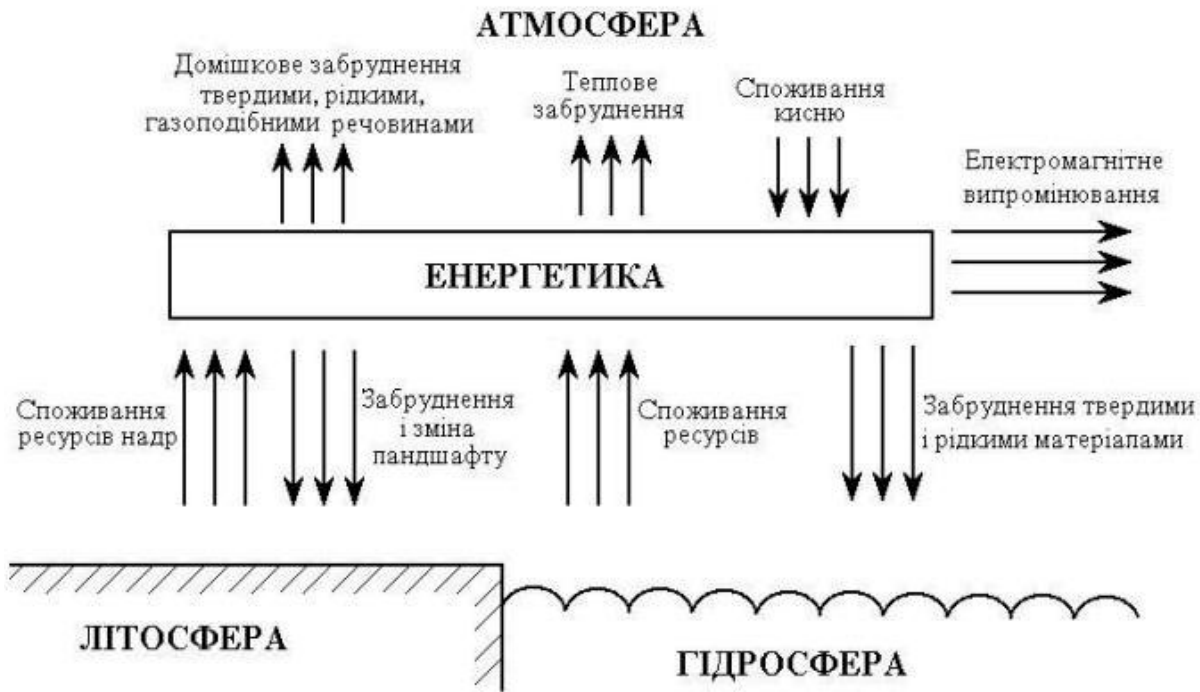


Рисунок 1- Структурна схема формування техногенного навантаження енергетики на довкілля

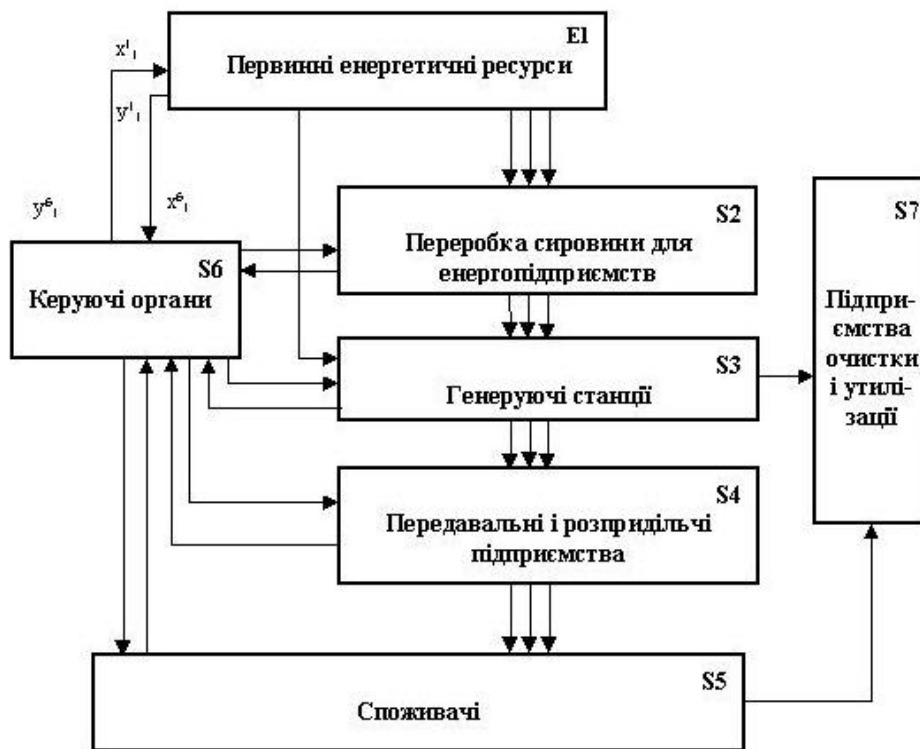


Рисунок 2 – Внутрішня структура і сукупність зв'язків підсистем енергетики

Множину входів і виходів елементів, пов'язаних між собою, будемо називати внутрішньою частиною системи. Множину входів і виходів, зв'язаних із середовищем, будемо називати його поверхнею. Будемо вважати, що процеси на поверхні системи (тобто процеси взаємодії із середовищем), можна уявити неперервними і хоча б однократно диференційова-

ними функціями (фізично "стрибокподібна" взаємодія не реалізується).

Зв'язок між елементами S_r і S_s запишемо у вигляді $x(s)_i = y(r)_i$ (зв'язки короткозамкнені), сукупність зв'язків можна подати матрицею S_{rs} розміром $n \times m$ з елементами 1 або 0. При відсутності зв'язків $S_{rs} = 0$.

Замкнене коло зв'язків відображається системою векторних рівностей

$$x^{(2)} = S_{12}y^{(1)}, x^{(3)} = S_{23}y^{(2)}, \dots, x^{(1)} = S_{r1}y^{(r)}. \quad (2)$$

Один елемент може бути зв'язаний з декількома іншими елементами. При відсутності взаємодії між елементами $S_{rsy}(r) = 0$.

Оскільки виходи та входи одного і того ж елемента не можуть бути зв'язаними, є тільки внутрішні зворотні зв'язки, то всі зв'язки системи можна описати квадратною матрицею розміром N з субматрицями S_{rs} в якості недіагональних елементів, яка називається структурною матрицею системи і має вигляд

$$S = \begin{pmatrix} 0 & S_{12} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & 0 & \dots & S_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{N1} & S_{N2} & \dots & 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Мінімальна кількість зв'язків дорівнює $N - 1$. Всі зворотні зв'язки подані субматрицями S_{rs} , які знаходяться нижче діагоналі, для цих субматриць $s < r$.

При об'єднанні M систем в систему більш високого порядку структурна матриця надсистеми має вигляд

$$S' = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1M} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{M1} & S_{M2} & \dots & S_{MM} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Враховуючи $x(s)_r = S_{rs}T_r(x(r))$ і позначивши $R_{rs} = S_{rs}T_r$, отримаємо

$$x(s)_r = R_{rs}(x(r)) \quad (5)$$

або

$$T_s(x(s)_r) = T_s S_{rs}(y(r)) \quad (6)$$

і, отже,

$$y(s)_r = T_s S_{rs}(y(r)) \quad (r, s = \overline{1, N}, r \neq s).$$

Відповідно, прийнявши $P_{rs} = T_s S_{rs}$, отримаємо

$$y(s)_r = P_{rs}(y(r)) \quad (r, s = \overline{1, N}, r \neq s). \quad (7)$$

Позначимо сукупність входів всіх елементів через

$$X = (x(1), x(2), \dots, x(N)), \quad (8)$$

а сукупність всіх виходів — через

$$Y = (y(1), y(2), \dots, y(N)). \quad (9)$$

Ці вектори входів та виходів системи еквівалентні квазідіагональним матрицям:

$$X = \begin{pmatrix} x^{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & x^{(2)} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & x^{(N)} \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y^{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & y^{(2)} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & y^{(N)} \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Матриця X має N рядків і $\sum_{r=1}^N m_r$ стовпчиків, а матриця Y — N рядків і $\sum_{r=1}^N n_r$ стовпчиків; m_r, n_r — відповідно число входів та виходів r -го елемента.

Рівність (5) і (7) можна переписати наступним чином:

$$\begin{pmatrix} 0 & x_1^{(2)} & \dots & x_1^{(N)} \\ x_2^{(N)} & 0 & \dots & x_2^{(N)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_N^{(1)} & x_N^{(2)} & \dots & 0 \end{pmatrix} = \quad (12)$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & R_{12}(x^{(1)}) & \dots & R_{1N}(x^{(1)}) \\ R_{21}(x^{(2)}) & 0 & \dots & R_{2N}(x^{(2)}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{N1}(x^{(N)}) & R_{N2}(x^{(N)}) & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 0 & y_1^{(2)} & \dots & y_1^{(N)} \\ y_2^{(1)} & 0 & \dots & y_2^{(N)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_N^{(1)} & y_N^{(2)} & \dots & 0 \end{pmatrix} = \quad (13)$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & P_{12}(y^{(1)}) & \dots & P_{1N}(y^{(1)}) \\ P_{21}(y^{(2)}) & 0 & \dots & P_{2N}(y^{(2)}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1}(y^{(N)}) & P_{N2}(y^{(N)}) & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Стовпчики лівих частин (12) та (13) являють собою складні вектори, які визначають нові стани входів та виходів відповідно, що виникли в результаті взаємодії елементів. Позначимо ці стовпчики $1x(1), 1x(2), \dots, 1x(N)$ і $1y(1), 1y(2), \dots, 1y(N)$ і, крім цього $X = (1x(1), 1x(2), \dots, 1x(N)), Y = (1y(1), 1y(2), \dots, 1y(N))$.

Тоді (12) і (13) можна переписати

$$1X = R(X); \quad 1Y = P(Y). \quad (14)$$

Тут R, P — оператори; X, Y — початкові; $1X, 1Y$ — кінцеві стани всіх виходів і входів всіх елементів системи.

Враховуючи (4), (5) і використовуючи квазідіагональні матриці (10) та (11), отримаємо

$$1X = 1YS, \tag{15}$$

Представимо оператори матрицями виду

$$R = \begin{pmatrix} 0 & R_{12} & \dots & R_{1N} \\ R_{21} & 0 & \dots & R_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{N1} & R_{N2} & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & \dots & P_{1N} \\ P_{21} & 0 & \dots & P_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1} & P_{N2} & \dots & 0 \end{pmatrix}, \tag{16}$$

$$T = \begin{pmatrix} T_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & T_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & T_N \end{pmatrix}$$

і запишемо R і P у вигляді добутоків

$$R = TS; P = ST. \tag{17}$$

Тоді

$$1X = TS(X); 1Y = TS(Y). \tag{18}$$

Отримані співвідношення відображають причиново-наслідкові зв'язки між початковими X , Y і кінцевими $1X$, $1Y$ станами всіх входів і виходів всіх елементів системи. Це дає можливість прослідкувати функціонування системи та визначити зв'язки, завдяки яким можливе управління системою [3].

Використання запропонованої методики дає змогу визначити основні напрями негативного впливу енергетики на довкілля, тобто дати умовну якісну характеристику.

Для визначення даної характеристики техногенного навантаження на довкілля, прийнята нами внутрішня структура та сукупність зв'язків енергетичного комплексу (рисунок 2).

Для визначення зв'язків підсистем, зображених на рисунку 2 доцільно застосовувати структурну матрицю S . Це матриця розміром 7×7 , яка відображає встановлені зв'язки підсистем. Елементами структурної матриці є субматриці S_{ij} , що описують більш детально зв'язок між i та j елементами. Наприклад, зв'язок між підприємствами-виробниками первинних енергетичних ресурсів (S_1) та підприємствами переробної галузі (S_2) описується субматрицею S_{12} . Запишемо структурну матрицю S застосовуючи аналогічну методику

$$S = \begin{pmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & S_{16} & 0 \\ 0 & 0 & S_{23} & 0 & 0 & S_{26} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{34} & 0 & S_{36} & S_{37} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{45} & S_{46} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{56} & S_{57} \\ S_{61} & S_{62} & S_{63} & S_{64} & S_{65} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Розглянемо субматриці зв'язків підсистем. Елементами субматриці S_{ij} є логічні елементи $\langle x_{mn} | x_{mn} \in (0;1) \rangle$, які відображають зв'язок між окремими виходами та входами елементів i та j відповідно. Отже, розмір субматриці S_{ij} рівний $W_i \times V_j$, де W_i - кількість виходів i елемента, V_j - кількість входів j елемента. Продовжуючи розгляд на основі субматриці S_{12} , запишемо

$$S_{12} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Аналізуючи субматрицю S_{12} визначаємо, наприклад, що збагаченню підлягають тільки уран і вугілля, при цьому спостерігається значний вплив на водне середовище. Запишемо решту субматриць, застосовуючи аналогічні міркування

$$S_{23} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; S_{34} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$S_{51} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Рядки субматриць $\tilde{S}_{10} - \tilde{S}_{40}$ відображають техногенне навантаження на атмосферу, літосферу, гідросферу і електромагнітний вплив (рисунок 1).

Субматрицю S_{45} визначати недоцільно зважаючи на значну мінливість складу споживачів в залежності від регіону. Субматриці $S_{16}, S_{26}, S_{36}, S_{56}, S_{61}, S_{62}, S_{63}, S_{65}$ відповідають інформаційним (S_{i6}) та управляючим (S_{6j}) зв'язкам, а тому їх можна відобразити одиничною матрицею.

Таким чином застосування субматриць дає змогу чітко і наглядно виразити взаємозв'язки структурних частин системи енергетики.

Структурну матрицю зв'язків можна доповнити векторами вхідного та вихідного зв'язків:

$$S_{BX} = (\tilde{S}_{01}, \tilde{S}_{02}, \tilde{S}_{03}, \tilde{S}_{04}, \tilde{S}_{05}, 0),$$

$$S_{BIX} = (\tilde{S}_{10}, \tilde{S}_{20}, \tilde{S}_{30}, \tilde{S}_{40}, \tilde{S}_{050}, 0),$$

де S_{i0} - вплив відповідної підсистеми на довкілля.

Розглянемо формування векторів \tilde{S} на прикладі впливу ТЕС на атмосферу. В залежності від вихідного складу палива продукти згорання, що викидаються в атмосферу, містять оксид азоту (NO_x), вуглецю (CO_x), сірки (SO_x), вуглеводні, пари води і інших речовин в твердому, рідкому і газоподібному стані. Крім цього в паропроводах від парогенератора до турбоагрегату, як і в корпусах і ресиверах турбогенератора, відбувається передача теплоти в навколишню атмосферу.

Враховуючи, що вплив на атмосферний кисень при спалюванні палива є прямим, має позитивний знак і повинен враховуватись із збільшенням втрат O_2 , які становлять

$$R_0 = \int_0^{Q_0} \frac{\partial R_0}{\partial Q_0} dQ_0,$$

тому вектор впливу ТЕС на атмосферу

$$\tilde{S}_{31} = \left(\int_0^{Q_0} \frac{\partial R_0}{\partial Q_0} dQ_0, - \int_0^{Q_{CO_2}} \frac{\partial R_{CO_2}}{\partial Q_{CO_2}} dQ_{CO_2}, - \int_0^{Q_{NO_2}} \frac{\partial R_{NO_2}}{\partial Q_{NO_2}} dQ_{NO_2}, \dots, F_T, F_n \right),$$

де F_T - функція теплових викидів; F_n - функція викидів пари.

Функції F_T і F_n визначаються окремо в кожному конкретному випадку в залежності від особливостей технологічного процесу і конструкції ТЕС.

Таким чином, структурна матриця зв'язків доповнена векторами технологічних навантажень окремих підсистем енергетики на довкілля дає змогу дати умовну якісну оцінку техногенного впливу енергетики.

На підставі вищенаведених тверджень сумарне антропогенне навантаження на довкілля можна подати у вигляді наступної множини:

$$\Sigma(A_{TH}) : \{ \{S_{EC}\}, \{E_r(t)\}, \{N_{ВП}\}, \{P_{ЯС}\}, \{Z_{ВД}\}, \{Q_{OC}\}, \{B_{BP}\}, \{B_{EMП}\}, \{K_{AG}\}, \{B_{ЛД}\} \}, \quad (19)$$

де S_{EC} - встановлена потужність генеруючих станцій, ТЕЦ; $E_r(t)$ - кількість виробленої електричної теплової енергії; $N_{ВП}$ - питомі викиди в атмосферу; $P_{ЯС}$ - показник складу і якісного малава; $Z_{ВД}$ - земельні відводи для зловідходів, охоронної зони електростанцій і земельні ділянки трансформаторних підстанцій, розподільчих пунктів; Q_{OC} - тепловий вплив на оточуюче середовище; B_{BP} - вплив на водні ресурси; $B_{EMП}$ - вплив електромагнітного поля; K_{AG} - коефіцієнт агресивності викидів; $B_{ЛД}$ - вплив на ландшафт.

Використовуючи вираз (19) антропогенне навантаження енергетичних об'єктів на довкілля пропонується оцінювати з допомогою показника екологічної ефективності ($\Pi_{EEФ}$):

$$\Sigma(\Pi_{EEФ}) : \frac{\Sigma(A_{TH})}{\sum_{i=1}^n \dot{I}_{\dots\mu} + \sum_{i=1}^n Q_i}, \quad (20)$$

де A_{TH} - функція антропогенного навантаження об'єктів на довкілля; E_{C_i} - вироблена електроенергія і-тою електростанцією, ТЕЦ; Q_i - спожита тепла енергія і-тої електростанції, ТЕЦ.

Крім того функції A_{TH} і $\Pi_{EEФ}$ можуть бути використані для удосконалення систем екологічного моніторингу, в техніко-економічних розрахунках по вибору місця розміщення, потужностей електроенергетичних об'єктів.

В кожному конкретному випадку виникає необхідність визначення аналітичних моделей окремих параметрів шляхом експертних оцінок, або обробки статистичних даних.

Література

1. Ф.В. Скалкин, А.А. Канаев, И.З. Копп Энергетика и окружающая среда. Л.: Энергоиздат, - 1981.
2. Губанов В.А. Захаров В.В. Коваленко А.А. Введение в системный анализ. Учебное пособие под ред. Петросяна Л.А. - Л.: издат. Ленинградского университета, 1988. - с. 232.
3. Дубкин В.М. Системный анализ в управлении. М.: Химия, 1984. - с. 224.