УДК 629.735.051:004.7

Міщенко А. В., к.т.н. (Національний авіаційний університет, Київ. +380 (67) 231 87 77. vvk@zeos.net)
Дробик О. В., к.т.н. (Державний унів-т телекомунікацій, Київ. +380 (44) 249 25 55. drobik@duikt.edu.ua

РЕСУРСНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЦИКЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ «СІТЬОВОГО» ТИПУ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВІАТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Міщенко А. В., Дробик О. В. Ресурсна оптимізація циклічних процесів "сітьового" типу функціонування авіатранспортної інфраструктури. Розглянуті задачі та алгоритми ресурсної оптимізації циклічних процесів "сітьового" типу функціонування авіатранспортного комплексу. Отримані оптимальні значення компонент плану розподілу ресурсу по завданнях. Приведений алгоритм процедури спрямованого пошуку стаціонарної точки "сідла" функції Лагранжа. Показано забезпечення доцільності плану розподілу «сітьового» ресурсу авіатранспортного комплексу по різнорідних операціях процесу функціонування авіатранспортної інфраструктури.

Ключові слова: авіатранспортний комплекс, авіаінфраструктура, цільова ефективність, інтерполяція, аналітичний метод, система масового обслуговування, ресурсна оптимізація

Мищенко А. В., Дробик А. В. Ресурсная оптимизация циклических процессов "сетевого" типа функционирования авиатранспортной инфраструктуры. Рассмотрены задачи и алгоритмы ресурсной оптимизация циклических процессов "сетевого" типа функционирования авиатранспортного комплекса. Получены оптимальные значения компонент плана распределения ресурса по заданиям. Приведен алгоритм процедуры направленного поиска стационарной точки "седла" функции Лагранжа. Показано обеспечения целесообразности плана распределения "сетевого" ресурса авиатранспортного комплекса по разнородных операциях процесса функционирования авиатранспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: авиатранспортный комплекс, авиаинфраструктура, целевая эффективность, интерполяция, аналитический метод, система массового обслуживания, ресурсная оптимизация

Mishchenko A. V., Drobyk O. V. Resource optimization of cyclic processes of "network" type operation of air transport infrastructure. The tasks and algorithms of of resource optimization of cyclic processes of "network" type operation of air transport industry are considered. The optimal values of plan components of resource distribution on tasks are got. An algorithm over of procedure of the directed search of stationary point of "saddle" of Langrangian is brought. Displaying ensure feasibility plan of the distribution of the "network" air transport resources in complex heterogeneous operations of the functioning of air transport infrastructure.

Keywords: air traffic center, aviainfrastrukture, target efficiency, interpolation, analytical method, queuing system, resource optimization

I. Вступ. На сьогодення забезпечення доцільності плану розподілу "сітьового" ресурсу авіатранспортного комплексу по різнорідних операціях процесу функціонування авіатранспортної інфраструктури України є актуальною науковою задачею. Задачі даного класу відносяться до основних задач менеджменту – наукової організації складних процесів по критерію максимально ефективного функціонування системи за призначенням [1]. "Внутрішні" технологічні процеси щодо утворення системної функції за змістом є перетворенням певного виду ресурсів і поділяються на поточні та циклічні.

II. Процеси сітьового типу. Розглянемо циклічний "складний" процес сітьового типу, наприклад – реалізацію цільової комплексної програми (ЦКП) створення інформаційної безпеки авіатранспортного комплексу (АТК), основними (для спрощення) заходами якої є:

z_1 – проектування АТК (визначення основного ресурсу повітряних суден та елементів інфраструктури);

z_2 – визначення районів розташування, підготовка об'єктів інфраструктури для розгортання елементів АТК;

z_3 – випробування зразків основного ресурсу ПС та ресурсу забезпечення проекту АТК;

z_4 – підготовка персоналу, ввід в експлуатацію елементів інфраструктури;

z_5 – виробництво (постачання) та ввід в експлуатацію основного ресурсу повітряних суден АТК.

Основою програмно-цільового методу створення АТК є графічна логіко-часова модель даного процесу – сітьовий граф типу "гамак".

Приклад такого графу наданий на Рис. 1, де:

t – вісь часу;

$(z_1 - z_5)$ – дуги, що надають оперативні завдання (заходи) процесу (відповідними значеннями трудомісткості ω, ресурсу y, тривалості τ), причому проекцією на вісь часу – тривалість виконання оперативного завдання, а напрямком – умови послідовності виконання завдання згідно логічній структурі процесу;

A, B, C, D – вершини, що надають стани (етапи), які пов'язані зі скінченням виконання попередніх завдань (операцій) та перевіркою умов початку виконання наступних завдань процесу.

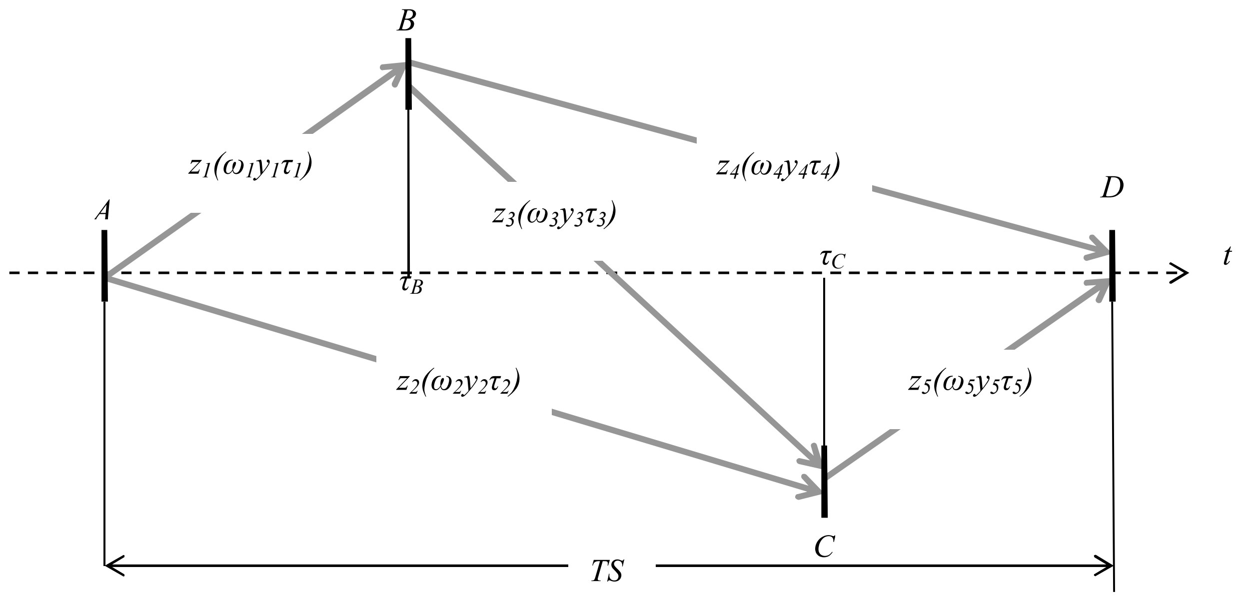

Рис. 1. Приклад графічної логіко-часової моделі складного процесу "сітьового" типу

Аналітичною логіко-математичною моделлю, що відповідає моделі-графу процесу [2], є матриця «шляхи – операції» (структурна матриця процесу)

$$V_{m\times n} = \left\| v_{ij} \right\|_{m\times n},$$

де елемент матриці приймає значення:

$v_{ij} = 1$, якщо i-му шляху належить j-та операція;

$v_{ij} = 0$ – у протилежному випадку .

Для даного прикладу (Рис. 1) структурна матриця графу надається таблицею (Табл. 1), де way_i, $i = \overline{1,m}$ – шляхи графу, тобто можливі ланцюги дуг, що з'єднують початкову та кінцеву вершини графу.

Для даного прикладу множина шляхів ($m=3$) є

$$way_1 = \langle z_1, z_4 \rangle = \langle A, B, D \rangle;$$

$$way_2 = \langle z_1, z_3, z_5 \rangle = \langle A, B, C, D \rangle;$$

$$way_3 = \langle z_2, z_5 \rangle = \langle A, C, D \rangle.$$

Табл. 1

V_{mxn}	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
way_1	$v_{11}=1$	$v_{12}=0$	$v_{13}=0$	$v_{14}=1$	$v_{15}=0$
way_2	$v_{21}=1$	$v_{22}=0$	$v_{23}=1$	$v_{24}=0$	$v_{25}=1$
way_3	$v_{31}=0$	$v_{32}=1$	$v_{33}=0$	$v_{34}=0$	$v_{35}=1$

Якщо відома трудомісткість завдань –

$$\Omega = \left\langle \omega_j, j = \overline{1,n} \right\rangle,$$

то для деякого плану розподілу "спеціалізованих" ресурсів забезпечення [3] по операціях процесу

$$Y = \left\langle y_j, j = \overline{1,n} \right\rangle$$

тривалість шляхів складе відповідно

$$T_i(Y) = \sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} \times \tau_j \right) = \sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} \times \frac{\omega_j}{y_j} \right), \; i = \overline{1,m},$$

тривалість процесу (як тривалість "критичного" шляху) –

$$TS(Y) = \max_i \left\{ T_i(Y), i = \overline{1,m} \right\}$$

і витрати ресурсів –

$$YS(Y) = \sum_{j=1}^{n} y_j .$$

III. Задачі ресурсної оптимізації складних процесів. Виникає дві наступні інтерпретації задачі ресурсної оптимізації складного процесу сітьового типу для спеціалізованих ресурсів забезпечення – пряма й обернена, змістова й формальна постановка яких аналогічна до розглянутих для лінійних процесів [4]. Але евристична умова оптимальності розподілу ресурсів як "критичність" усіх шляхів сітьового графу (коли шляхи мають однакову тривалість, тобто відсутні "очікування") потребує розробки спеціальних ітераційних методів нелінійного програмування "попарної корекції" (ПК) для вирішення даних задач.

Обернена задача – на множині планів розподілу спеціалізованого ресурсу сил по завданнях *{Y}* складного процесу сітьового типу, кожний з котрих $Y = \left\langle y_j, j = \overline{1,n} \right\rangle$ задовольняє умову обмеження на припустиму тривалість процесу TS (критерій придатності)

$$T_i(Y) = \sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} \times \tau_j \right) = \sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} \times \frac{\omega_j}{y_j} \right) = TS, \; i = \overline{1,m}, \quad \textbf{(1)}$$

знайти такий (оптимальний) план – вектор $Y^o = \left\langle y_j^o, j = \overline{1,n} \right\rangle$, що мінімізує чисельний склад ресурсу сил –

$$YS(Y^o) = \min_{\{Y\}} YS(Y) = \sum_{j=1}^{n} y_j^o . \quad \textbf{(2)}$$

Оскільки ліві частини системи рівнянь-обмежень (1) є сімейством функції – опуклих нелінійних форм, а цільова функція (2) – лінійною формою (граничний випадок нелінійності), то задача може бути вирішена аналітичним методом – методом невизначених множників Лагранжа (НМЛ). Оскільки в системі (1) m рівнянь-обмежень, то вектор НМЛ буде мати вигляд [5]:

$$\Lambda = \left\langle \lambda_i , i = \overline{1,m} \right\rangle .$$

Складаємо функцію Лагранжа –

$$\Phi(Y,\Lambda) = YS(Y) + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \times \{TS - T_i(Y)\} = \sum_{j=1}^{n} y_j + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \times \left\{ TS - \sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} \frac{\omega_j}{y_j} \right) \right\}.$$

Умови існування стаціонарної точки (“сідла”) функції Лагранжа:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y_j} = 1 + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i v_{ij} \frac{\omega_j}{y_j^2} = 0, \;\; j = \overline{1,n}; \tag{3}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_i} = TS - \sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} \frac{\omega_j}{y_j} \right), \;\; i = \overline{1,m}. \tag{4}$$

На жаль, дана система алгебраїчних рівнянь є трансцендентною до компонент рішення (Y,Λ). Але рішення може бути знайдене ітераційною процедурою спрямованого пошуку стаціонарної точки “сідла” (Y^o,Λ^o) функції Лагранжа за допомогою направляючого вектору частинних похідних –

$$V(Y,\Lambda) = \left\langle -\frac{\partial \Phi}{\partial y_j}, j = \overline{1,n}; \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_i}, i = \overline{1,m} \right\rangle . \tag{5}$$

Оскільки точка (Y^o,Λ^o) функції Лагранжа є стаціонарною, тобто в її околі функція ні зростає, ні зменшується, то її частинні похідні будуть наближатися до нуля. Тому й модуль направляючого вектору

$$MV(Y,\Lambda) = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y_j} \right)^2 + \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_i} \right)^2} \tag{6}$$

в околі точки (Y^o,Λ^o) також буде близьким до нуля, що є умовою знайдення оптимального рішення задачі з потрібною точністю.

Алгоритм процедури спрямованого пошуку стаціонарної точки “сідла” функції Лагранжа полягає у наступному.

Надається (для номера ітерації k=0) початкове наближення компонентам векторів $Y^{(k)},\Lambda^{(k)}$; значення кортежів вектору $Y^{(k)}$ визначається евристично за допомогою логіко-часової моделі (сітьового графіку) процесу [6] (Рис. 2), а вектору $\Lambda^{(k)}$ – за допомогою значень вектору $Y^{(k)}$ згідно фізичному змісту НМЛ як “чутливості” цільової функції (ресурсу шляху) до обмеження (тривалості шляху) .

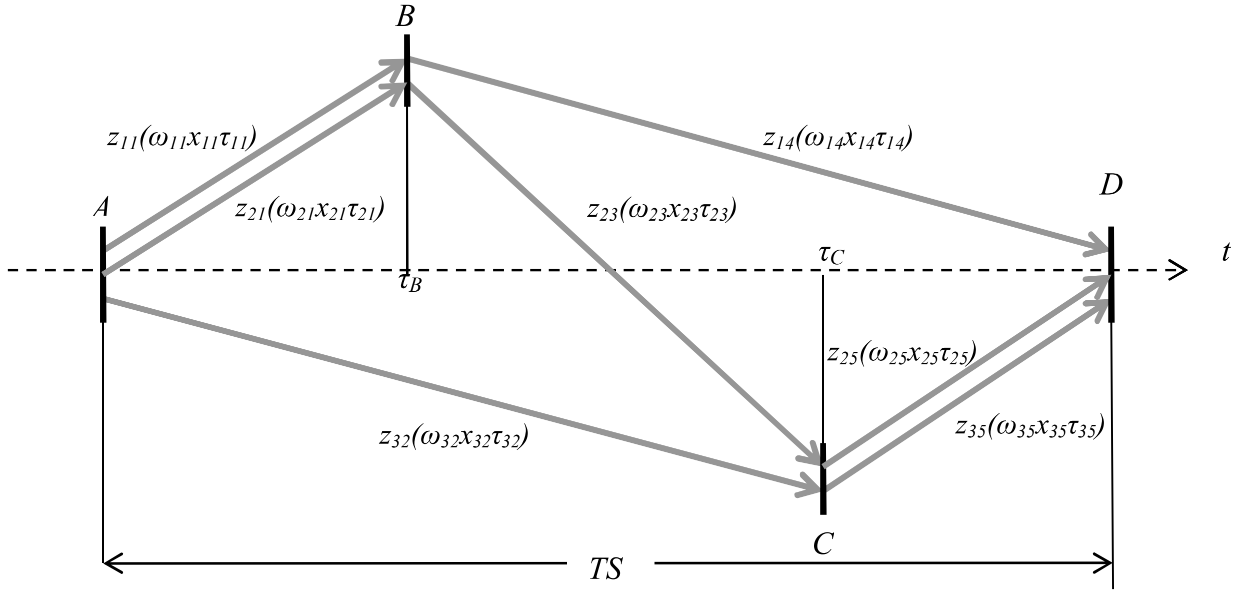

Рис. 2. Перехід від векторного (Рис. 1) до матричного аргументу – плану розподілу ресурсу по завданнях процесу

Оскільки відомі припустима тривалість *TS,* структурна матриця процесу та трудомісткості завдань

$$V_{m\times n} = \left\| v_{ij} \right\|_{m\times n},\ \ \Omega = \left\langle \omega_j, j = \overline{1,n} \right\rangle,$$

то початкові тривалості виконання завдань та початкові значення ресурсу можуть у першому наближенні (згідно сітьовому графіку процесу) дорівнювати (Табл. 2)

Табл. 2

Початкова тривалість завдань	Початкове значення компонент $Y^{(k=0)}$
$\tau(1)=(1/3)\times TS$	$y(1)= \omega(1)/\tau(1)= \omega(1)/\{(1/3)\ \times TS\}$
$\tau(2)=(2/3)\ \times TS$	$y(2)=\omega(2)/\tau(2)= \omega(2)/\{(2/3)\ \times TS\}$
$\tau(3)=(1/3)\ \times TS$	$y(3)=\omega(3)/\tau(3)= \omega(3)/\{(1/3)\ \times TS\}$
$\tau(4)=(2/3)\ \times TS$	$y(4)=\omega(4)/\tau(4)= \omega(4)/\{(2/3)\ \times TS\}$
$\tau(5)=(1/3)\ \times TS$	$y(5)=\omega(5)/\tau(5)= \omega(5)/\{(1/3)\ \times TS\}$

Початкове значення компонент НМЛ $\Lambda^{(k=0)}$ для кожного шляху, як “чутливість” функції ефекту до відповідного обмеження, складе відповідно:

$\lambda(1)= \{y(1)+y(4)\}/\ TS$; $\lambda(2)= \{y(1)+y(3)+y(5)\}/\ TS$; $\lambda(3)= \{y(2)+y(5)\}/\ TS.$

Обчислюються значення частинних похідних (3), (4) – компонент направляючого вектора (5) в початковій “точці”

$$V\{Y^{(k=0)}, \Lambda^{(k=0)}\}$$

та його модуль (5) –

$$MV\ \{\ Y^{(k=0)}, \Lambda^{(k=0)}\ \}\ .$$

Задається значення модуля *MV* в околі "сідлової" точки (Y^o, Λ^o), як точність вирішення задачі – *ε*. Обираються також "кроки" зміни координат "представницької точки" $\{Y, \Lambda\}$ в ітераційному процесі як коефіцієнти пропорційності $\delta y, \delta\lambda$ [7, 8].

k-та ітерація

Крок 1. Перевірка умови –

$$MV\{Y^{(k)}, \Lambda^{(k)}\} \le \varepsilon?$$

Якщо «так», то кінець ітераційної процедури – перехід на **Рішення.**

Крок 2. Перехід у "нову" представницьку точку – присвоювання

$$y_j^{(k)} := y_j^{(k-1)} - \left\{\frac{\partial \Phi}{\partial y_j}\right\}^{(k-1)} \times \delta y, \;\; j = \overline{1,n};$$

$$\lambda_i^{(k)} := \lambda_i^{(k-1)} + \left\{\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_i}\right\}^{(k-1)} \times \delta\lambda, \;\; i = \overline{1,m}.$$

Крок 3. Обчислення частинних похідних в поточній точці по формулах (1), (2) –

$$-\left\{\frac{\partial \Phi}{\partial y_j}\right\}^{(k)}, j = \overline{1,n}; \;\; \left\{\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_i}\right\}^{(k)}, i = \overline{1,m}\,.$$

Крок 4. Обчислення модуля направляючого вектора по формулі (5) –

$$MV\{Y^{(k)}, \Lambda^{(k)}\}.$$

Крок 5. Продовження ітераційної процедури – присвоювання $k := k+1$, перехід до кроку 1.

Рішення

1. Оптимальне рішення – план розподілу ресурсу по завданнях процесу –

$$Y^o = \left\langle y_j^o, j = \overline{1,n} \right\rangle = Y^{(k)}.$$

2. Загальна (мінімальна) чисельність ресурсу –

$$YS = \sum_{j=1}^{n} y_j^o\,.$$

3. Кількість ітерації – *k.*

IV. Аналіз методів. Недоліком аналітичних та ітераційних "пошукових" методів є неперервність значень компонент рішення [9], тоді як вони за фізичним змістом є розрахунковими одиницями ресурсу, тобто дискретними (навіть ціло-чисельними), і округлення неперервних значень до ціло-чисельних не є тривіальною задачею, якщо поступки при порушенні обмежень неможливі.

Таким чином, виникає ітераційний метод “попарної корекції” на кожній ітерації шляхів з максимальною і мінімальною тривалістю перерозподілом між ними частки ресурсу (від шляху мінімальної тривалості до шляху максимальної тривалості) до вирівнювання їх тривалості.

Особливістю методів попарної корекції (ПК), які придатні для вирішення прямих і обернених задач, є перехід від плану-вектору до плану-матриці, елементи якої співпадають з ненульовими елементами структурної матриці «шляхи-операції» $V_{m\times n}$; це означає –

$$X_{m\times n} = \left\| x_{ij} \right\|_{m\times n}; \quad \Omega S = \left\| \omega_{ij} \right\|_{m\times n} = \left\langle \Omega_j = \sum_{i=1}^{m} v_{ij}\omega_{ij} \;, j = \overline{1,n} \right\rangle,$$

для яких виконується умова –

$$y_j = \sum_{i=1}^{m} x_{ij}, \; j = \overline{1,n}.$$

При цьому трудомісткість і ресурс кожної операції (приклад – Рис. 1) умовно :розділяється” між шляхами, яким належить дана операція (як показано на Рис. 2), і оптимізація процесу в цілому зводиться до перерозподілу ресурсів між шляхами з максимальною та мінімальною тривалістю для їх підрівнювання (“попарна корекція”) [10, 11].

При “універсальному” ресурсі, коли він має спеціалізації по усіх завданнях, що належать його шляху, буде мати місце умова –

$$(v_{ij}x_{ij}, j = \overline{1,n}) = X_i, \; i = \overline{1,m}; \; \sum_{i=1}^{m} X_i = YS.$$

Із очевидних (Рис. 2) співвідношень

$$\left\{ \begin{array}{ccc} (\omega_{11}+\omega_{14})/TS & = & X_1 \\ (\omega_{21}+\omega_{23}+\omega_{25})/TS & = & X_2 \\ (\omega_{32}+\omega_{35})/TS & = & X_3 \\ \omega_{11}+\omega_{21} & = & \Omega_1 \\ \omega_{23} & = & \Omega_2 \\ \omega_{32} & = & \Omega_3 \\ \omega_{14} & = & \Omega_4 \\ \omega_{25}+\omega_{35} & = & \Omega_5 \end{array} \right\}$$

складаємо систему сумісних нелінійних рівнянь –

$$\left\{ \begin{array}{l} (\omega_1+\Omega_4)/X_1 = TS \\ (\Omega_1-\omega_{11}+\Omega_3+\omega_{25})/X_2 = TS \\ (\Omega_2+\Omega_5-\omega_{25})/X_3 = TS \\ \Omega_1/(X_1+X_2)+\Omega_4/X_1 = TS \\ \Omega_5/(X_2+X_3)+\Omega_2/X = TS \end{array} \right\}.$$

Вирішення даної системи рівнянь дає оптимальні значення компонент плану розподілу ресурсу по шляхах –

$$XS^o = \left\langle X_1^o, X_2^o, X_3^o \right\rangle$$

та їх "спеціалізації" і загальну чисельність –

$$YS = \sum_{i=1}^{m} X_i^o = X_1^o + X_2^o + X_3^o.$$

Тепер, знаходяться оптимальні значення компонент плану розподілу ресурсу по завданнях –

$$y_1^o = (X_1^o + X_2^o);\; y_2^o = X_3^o;\; y_3^o = X_2^o;\; y_4^o = X_1^o;\; y_5^o = (X_2^o + X_3^o).$$

V. Алгоритми ресурсної оптимізації процесів "сітьового" типу. Алгоритм вирішення *оберненої* задачі ресурсної оптимізації складних процесів "сітьового" типу при спеціалізованих (по операціях) та універсальних ресурсах реалізований у спеціальному математичному і програмному забезпеченні комп'ютерних засобів автоматизації організаційного управління.

Формальна постановка *прямої* задачі оптимального розподілу спеціалізованого ресурсу по завданнях циклічного процесу "сітьового" типу неможлива через неможливість надання аналітичного вигляду цільовій функції (тривалості процесу) –

$$TS(Y^o) = \min_{\{Y\}} \left\{ \max_{i=\overline{1,m}} T_i(Y) \right\}$$

при обмеженні на ресурси –

$$YS(Y) = \sum_{j=1}^{n} y_j \le YS^{прип}.$$

Тут можливий перехід до нової цільової функції – дисперсії значень тривалості шляхів процесу, яка мінімізується (згідно евристики щодо однакової тривалості, тобто "критичності", усіх шляхів при оптимальному розподілі ресурсу) –

$$DS(Y^o) = \min_{\{Y\}} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} (T_i(Y^o) - TS)^2 \right\},$$

де TS – математичне сподівання тривалості процесу для прямої задачі чи потрібне значення для оберненої задачі.

Складемо функцію Лагранжа для даної цільової функції та рівняння-обмеження –

$$\Psi(Y,\mu) = DS(Y) + \mu \times \left\{ YS^{прип} - YS(Y) \right\}.$$

На жаль, система рівнянь частинних похідних нулю (умова існування точки "сідла") для даної функції також трансцендентна до компонент рішення (Y,μ).

Із очевидних (Рис. 2) співвідношень

$$\begin{cases} (\omega_{11}+\omega_{14})/TS & = & X_1 \\ (\omega_{21}+\omega_{23}+\omega_{25})/TS & = & X_2 \\ (\omega_{32}+\omega_{35})/TS & = & X_3 \\ \omega_{11}+\omega_{21} & = & \Omega_1 \\ \omega_{23} & = & \Omega_2 \\ \omega_{32} & = & \Omega_3 \\ \omega_{14} & = & \Omega_4 \\ \omega_{25}+\omega_{35} & = & \Omega_5 \end{cases}$$

складаємо систему сумісних нелінійних рівнянь –

$$\begin{cases} (\omega_1+\Omega_4)/TS & = & X_1 \\ (\Omega_1-\omega_{11}+\Omega_3+\omega_{25})/TS & = & X_2 \\ (\Omega_2+\Omega_5-\omega_{25})/TS & = & X_3 \\ \Omega_1/(X_1+X_2)+\Omega_4/X_1 & = & TS \\ \Omega_5/(X_2+X_3)+\Omega_2/X_3 & = & TS \\ X_1+X_2+X_3 & = & YS \end{cases}.$$

Вирішення даної системи рівнянь дає оптимальні значення компонент плану розподілу ресурсу по шляхах –

$$XS^o = \left\langle X_1^o, X_2^o, X_3^o \right\rangle$$

та їх "спеціалізації" і мінімальну тривалість процесу –

$$YS = \sum_{i=1}^{m} X_i^o = X_1^o + X_2^o + X_3^o.$$

Оптимальні значення компонент плану розподілу ресурсу по завданнях дорівнюватимуть

$$y_1^o = (X_1^o + X_2^o);\ y_2^o = X_3^o;\ y_3^o = X_2^o;\ y_4^o = X_1^o;\ y_5^o = (X_2^o + X_3^o).$$

VI. Висновок. Отримані оптимальні значення компонент плану розподілу ресурсу по завданнях. Здійснено вирішення розглянутої системи рівнянь, що дає оптимальні значення компонент плану розподілу ресурсу по шляхах. Також приведений алгоритм процедури спрямованого пошуку стаціонарної точки "сідла" функції Лагранжа. Таким чином розглянута ресурсна оптимізація циклічних процесів "сітьового" типу функціонування авіатранспортного комплексу.

Література

1. Герасименко В. А. Основы защиты информации / В. А. Герасименко, А. А. Малюк. – Москва: МИФИ, 1997. – 537 с.

2. Максимов В. И. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач / В. И. Максимов, Е. К. Корноушенко // Труды ИПУ РАН. – Москва, 1999. – Т. 2. – С. 95-109.

3. Кастельс М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура / М. Кастельс ; пер. с англ. под научн. ред. О. И. Шкаратана. – Москва : Мир, 2000. – 608 с

4. Ажмухамедов И. М. Принципы обеспечения комплексной безопасности информационных систем / И. М. Ажмухамедов // Вестник АГТУ. Серия : Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – №. – С.7-11.

5. Скородумов Б. И. О понятийно-терминологическом аппарате информационной безопасности / Б. И. Скородумов // Безопасность информационных технологий. – 2008. – №4. – С.43-45.

6. Малюк А. А. Защита информации: современные проблемы / А. А. Малюк // Безопасность информационных технологий. – 2010. – №1. – С. 5-9.

7. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Системный подход / В. В. Домарев. – Киев : изд-во «Диасофт», 2004. – 992 с.

8. Самарский А. А. Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – Москва : Наука, 1989. – 432 с.

9. Малюк А. А. К вопросу об интенсификации процессов защиты информации / А. А. Малюк // Безопасность информационных технологий. – 2011. – №1. – С. 6-10.

10. Малюк А. А. Информационная безопасность; концептуальные и методологические основы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. А. Малюк. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2004. – 280с.

11. Качинський А. Б. Безпека, загрози, ризик. Наукові концепції та математичні методи. / А. Б. Качинський. – Київ : 2004. – 470 с. (Інститут проблем національної безпеки. Національна академія служби безпеки України).

Дата надходження в редакцію: 11.02.2014 р. Рецензент: д.т.н., проф. М. А. Віноградов