Список літератури

1. An Effective and Fast Scene Change Detection Algorithm for MPEG Compressed Videos / [Z. Li, J. Jiang, G. Xiao, H. Fang] // ICIAR 2006, LNCS 4141, 2006. – P. 206–214.
2. Change detection benchmark web site [Electronic resource]. – Mode of access: http://wordpress-jodoin.dmi.usherb.ca. – Title from the screen.
3. Low Complexity Change Detection Algorithm Operating in the Compressed Domain / J. Bracamonte, M. Ansorge, F. Pellandini, P. Farine // Proceedings of the 8th COST 276 Workshop on Information and Knowledge Management for Integrated Media Communication. – 2005. – Vol. 276 (8). – P. 7–12.
4. Rajkumar R. Survey on Motion Vector Filtering and Object Segmentation Methods in compressed Domain / R. Rajkumar, D. SaiKrishna, A. S. Jayanth // International Journal of Advancements in Technology. – April 2011. – Vol. 2 (2).
5. Tommesani Stefano. Comparing background subtraction algorithms [Electronic resource] / Stefano Tommesani – Mode of access: http://www.tommesani.com/index.php/video/comparing-background-subtraction-algorithms.html. – Title from the screen.
6. Scene change detection techniques for video database systems / H. Jiang, A. Helal, A. Elmagarmid, A. Joshi // Multimedia System. – June 1998. – P. 186–195.
7. Sorwar Golam. A Novel Filter for Block – Based Object Motion Estimation / Golam Sorwar, Manzur Murshed, Laurence Dooley // Digital Image Computing Techniques and Applications. – Melbourne, Australia, 2002.

O. Buchko, R. Savchenko, D. Yakovenko

REAL TIME MOTION DETECTION IN COMPRESSED VIDEO STREAM

This article presents a fast, efficient and simple method for image change and motion detection in the compressed video stream. The proposed method works directly on H.264 compressed video format.

Keywords: motion detection, H.264, motion vectors.

Матеріал надійшов 05.05.2014

УДК 519.85

Горборуков В. В., Франчук О. В.

ЗАДАЧА ПЛАНУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

У статті розглянуто задачу планування технічного обслуговування складних систем, яка формалізується в класі моделей дискретного програмування з обмеженнями комбінаторного типу. Для розв'язку задачі запропоновано алгоритм, що базується на ідеології методу динамічного програмування.

Ключові слова: технічна система, математична модель, оптимізація, дискретне програмування, динамічне програмування.

При експлуатації складних систем (територіально-розподілених систем, мереж зв'язку [11], інформаційно-обчислювальних мереж [12] та ін.) для продовження термінів їхньої працездатності, враховуючи неминучі процеси «старіння» систем та зносу їхніх підсистем, застосовуються гнучкі стратегії технічного обслуговування (ТО) [1; 2; 8]. При використанні гнучких стратегій терміни проведення та обсяги ТО визначаються фактичним технічним станом елементів, що обслуговуються. За рахунок цього зменшується надмірність операцій ТО, знижуються експлуатаційні витрати і поліпшуються значення показників надійності та ефективності систем. Впровадження гнучких стратегій ТО пов'язано з необхідністю розв'язку оптимізаційних задач для визначення періодів та обсягів ТО елементів систем. Відповідні методи ТО розглянуто в [1–4]. Однак при функціонуванні елементів у складі системи оптимальні для кожного з них терміни ТО не завжди можуть бути реалізовані через взаємозв'язки елементів при виконанні цільових задач і обмеженості загальносистемних ресурсів, що виділяються на ТО. Цю проблему може бути вирішено тільки при системному розгляді задачі планування ТО [3; 8]. Відмінною особливістю задачі планування ТО системи при використанні гнучких стратегій є необхідність аналізу великих об'ємів інформації про технічний стан елементів, функціональну завантаженість системи, наявні ресурси на проведення ТО та ін. При цьому планування ТО може здійснюватися в межах дворівневої ієрархічної системи. На нижньому рівні в окремих елементах проводиться збір і аналіз інформації про технічний стан та за необхідності формуються заявки на ТО. На верхньому рівні, наприклад в центрі ТО, здійснюється визначення конкретних дат обслуговування елементів з урахуванням загальносистемних ресурсів.

Розглянемо територіально-розподілену систему, що складається з n елементів (вузлів) j, $j \in J = \{1, 2, \ldots, n\}$. Нехай T – інтервал планування (місяць, квартал та ін.) ТО системи. Перед початком інтервалу планування в центр ТО надходять заявки на обслуговування елементів. При формуванні заявок на ТО враховується, що показники якості функціонування елементів (наприклад, коефіцієнт готовності чи коефіцієнт оперативної готовності) є функціями від дати початку обслуговування. Функціями від дат початку обслуговування є також величини витрат ресурсів різного виду (обсяг витратних матеріалів, вартість ТО, трудовитрати та ін.) [3; 4]. Позначимо через x_j дискретну змінну, що вказує на дату початку обслуговування j-го елемента, $x_j \in X_j = \{1, 2, \ldots, T\}$. Заявкою на ТО є набір:

$$Z_{j=} < \tau_j, f_j\left(x_j\right), g_{ij}\left(x_j\right), x_j \in X_j, j \in J, i \in I = \{1, 2, \ldots, m\} >,$$

де τ_j – тривалість ТО елемента (величина τ_j залежить від виду ТО, яке необхідно проводити на інтервалі планування і яке може бути різною, наприклад для річного та щомісячного ТО [2]);

$f_j\left(x_j\right)$ – значення показника якості функціонування j-го елемента у випадку, якщо його ТО починається в x_j-й день інтервалу планування (таким показником може виступати коефіцієнт готовності елемента, коефіцієнт оперативної готовності та ін. [2; 4]);

$g_{ij}\left(x_j\right)$ – витрати ресурсу i-го виду на обслуговування j-го елемента, якщо його ТО починається в x_j-й день періоду ТО;

m – число видів ресурсів.

Для кожного елемента якість планування ТО оцінюється показником

$$h_j\left(x_j\right) = \mid f_{0j} - f_j\left(x_j\right) \mid, \tag{1}$$

$$де\, f_{0j} = \max_{x \in X_j} f_j\left(x_j\right),\ j \in J.$$

Показник (1) характеризує зниження якості функціонування елемента при відхиленні строків його обслуговування від оптимальних. Складаючи план ТО, необхідно враховувати умови, що визначаються взаємодією різних елементів при вирішенні цільових задач. Ця взаємодія призводить до того, що в складі системи існує множина елементів $J_\rho = \{j_1, j_2, \ldots, j_{k_\rho}\} \subseteq J$, об'єднаних, наприклад, за ознакою неможливості одночасного ТО більш ніж u_ρ будь-яких елементів із їх складу для всього періоду планування, де $j_1, j_2, \ldots, j_{k_\rho}$ – номери елементів; $\rho = 1, 2, \ldots, r$; r – число таких множин. Так, наприклад, якщо для елементів $j_1 = 1,\ j_2 = 6,\ j_3 = 7$, $j_4 = 15$ відомо, що одночасне обслуговування будь-яких трьох з них і всіх чотирьох заборонено, то $u_1 = 2,\ J_1 = \{1, 6, 7, 15\}$. Крім цього, можуть задаватись обмеження на максимальне число N_l елементів, що обслуговуються в l-й день, $l = 1, 2, \ldots, T$. Ці умови визначаються як функціональними особливостями систем, що обслуговуються, так і обмеженістю ресурсів на проведення ТО. Необхідно скласти план $x = \left(x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_n\right)$ обслуговування всіх елементів, який мінімізує втрати коефіцієнта готовності і задовольняє наведеним вище обмеженням.

Математична модель сформульованої задачі має вигляд:

$$h\left(x\right) = \sum_{j \in J} h_j\left(x_j\right) \to min, \tag{2}$$

$$g_i\left(x_j\right) = \sum_{j \in J} g_{ij}\left(x_j\right) \le b_i,\ i \in I, \tag{3}$$

$$\sum_{j \in J} \delta_l\left(x_j\right) \le N_l,\ l = 1, 2, \ldots, T, \tag{4}$$

$$\sum_{j \in J_\rho} \delta_l\left(x_j\right) \le u_\rho,\ \rho = 1, 2, \ldots, r,\ \ l = 1, 2, \ldots, T, \tag{5}$$

$$x = \left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) \in X = \prod_{j \in J} X_j, \quad X_j = \{1, 2, \ldots, T\}, \tag{6}$$

$$\text{де} \quad \delta_l\left(x_j\right) = \begin{cases} 1, & якщо\, x_j \le l \le x_j + \tau_j - 1 \\ 0, & в\, іншому\, випадку \end{cases}.$$

Обмеження (4) відображають умови на неприпустимість планування одночасного ТО елементів, кількість яких перевищує кількість ремонтних бригад, що працюють в l-й день. Обмеження (5) присутні у разі, коли J_ρ елементів ідентичні за своїм функціональним призначенням, і одночасне обслуговування більш ніж u_ρ з них може помітно знизити ефективність усієї системи.

Якщо вся множина елементів системи розбивається на зони обслуговування, розташовані в різних регіонах, розглядаються обмеження $\alpha_j < x_j < \beta_j,\ j \in J$, що задають бажані інтервали обслуговування елементів. У цьому випадку для всіх елементів з однієї зони обслуговування відводиться один і той самий інтервал ТО. У задачах (2)–(6) додатковими обмеженнями є умови неперервності обслуговування елемента j за час τ_j із забороною ТО у вихідні та святкові дні. Ці умови враховуються природним чином. Так, наприклад, якщо сьомий день періоду T – вихідний, то він виключається з усіх $X_j : X_j = \{1,2,\ldots 6,8,\ldots,T\},\ j \in J$.

Модель (2)–(6) представляє собою задачу дискретного сепарабельного програмування з обмеженнями комбінаторного типу. В [5] для її розв'язання використовується комбінований алгоритм, що полягає в послідовному застосуванні процедури аналізу і відсіювання варіантів [6; 9] та методу послідовної статистичної оптимізації [10]. Проте при розв'язанні реальних задач ТО існують випадки, коли алгоритм, запропонований у [5], дозволяє знаходити тільки наближені розв'язання задачі (2)–(6). Такі випадки виникають, коли вже неможливо застосувати процедури аналізу та відсіву варіантів [5; 6; 9], а кількість усіх допустимих варіантів ТО, що залишилися, така велика, що не дозволяє знайти оптимальний план ТО прямим перебором. Тому виникає необхідність розробки інших, ефективніших алгоритмів для розв'язання поставленої задачі.

Наведемо один з таких алгоритмів, що базується на ідеології методу динамічного програмування.

Нехай $x = (x_1, x_2, \ldots, x_j, \ldots, x_n) \in X = \prod_{j \in J} X_j$ – задає набір днів початку ТО для елементів системи, $x_j \in \{0,1,2,\ldots,T\}$. Якщо $x_j = 0$, це означає, що для j-елемента, ще не встановлений день початку ТО. Позначимо $x_k^d = (x_1, \ldots, x_{k-1}, d, x_{k+1}, \ldots, x_n)$, $d \in \{0,1,2,\ldots,T\}$ – певний (можливо, навіть недопустимий) план ТО, в якому всі елементи, крім k-го, фіксовані, а значення k-го варіюється в межах від 0 до *T*. Загальний розв'язок задачі будемо знаходити ітераційно. Результатом k-ої ітерації $(k = \overline{1,n})$ буде частковий розв'язок задачі, тобто розв'язок, в якому елементи з 1 по k-й утворюють оптимальний план ТО без врахування решти елементів з $k+1$ по n. Нехай для 1-го, 2-го,…, $k-1$-го елемента знайдений оптимальний план ТО при деяких фіксованих значеннях $x_{k+1}, x_{k+2}, \ldots, x_n$. Такий частковий розв'язок будемо розглядати у вигляді $x_k^0 = (x_1, \ldots, x_{k-1}, 0, x_{k+1}, \ldots, x_n)$.

Позначимо W_1 – множину допустимих значень x_k, які на k-ій ітерації алгоритму задовольняють обмеження (3)–(5) разом з частковим розв'язком x_k^0, а W_2 – множину значень, які x_k не може приймати при фіксованих $x_1, x_2, \ldots, x_{k-1}$ часткового розв'язку задачі на *k-1* ітерації. При цьому план ТО $x = (0,0,\ldots,0,x_k,x_{k+1},\ldots,x_n)$ повинен задовольняти обмеженням (3)–(5).

Множину значень, які x_k не можуть приймати при $x = (0,0,\ldots,0,x_k,x_{k+1},\ldots,x_n)$ внаслідок порушення обмежень (3–5) позначимо W_3. Якщо $W_3 = X_k$, то задача не має розв'язку.

Таким чином, $W_1 \cup W_2 \cup W_3 = \{1,2,\ldots,T\}$.

Отже, ітераційний процес розв'язку задачі (2)–(6) описується таким рекурентним співвідношенням:

$$z(x,0) = 0$$

$$z(x,k) = \min\{z(x_k^0, k-1) +$$

$$+\min_{d \in W_1} h_k(d); \min_{d \in W_2}\left(z(x_k^d, k-1) + h_k(d)\right)\},$$

де $z(x,k)$ – частковий розв'язок задачі на k-й ітерації, $z(x,n)$ – остаточний розв'язок задачі.

На рис. 1 білі клітинки k-го рядка відповідають множині W_1, сірі – множині W_2, а чорні – множині W_3.

Процедура аналізу множини W_1

На k-й ітерації, $k = \overline{1,n}$ знайдемо $d^* = \arg\min_{d \in W_1} h_k(d)$ та $h^* = h_k(d^*)$. Тоді $z^*(x,k) = z(x_k^0, k-1) + h^*$, де $z(x_k^0, k-1)$ – частковий розв'язок задачі для $k-1$ перших елементів, тобто $z^*(x,k) \le z(x_k^0, k-1) + h_k(d),\ d \in W_1$. Таким чином множина W_1 розглянута.

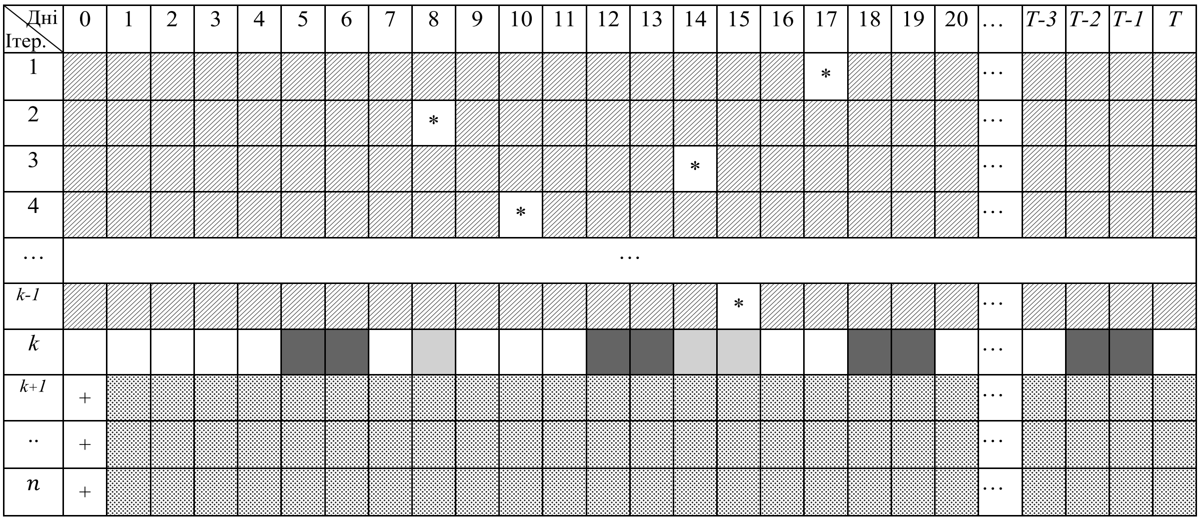
Процедура аналізу множини W_2

Розглянемо множину W_2 і видалимо з неї «неперспективні» значення x_k:

$$W_2^* = W_2 \setminus \{d | d \in W_2 : h_k(d) \ge h^*\}$$

Якщо $W_2^* = \varnothing$, то значення перших k елементів в $x_k^{d^*}$ є оптимальними. В іншому випадку знайдемо $q = \arg\min_{d \in W_2} h_k(d)$ і при цьому значенні обчислимо $z(x_k^q, k-1)$ при фіксованому $x_k = q$.

Якщо $z^*(x,k) > z\left(x_k^q, k-1\right) + h_k(q)$, то покладемо $h^* = z\left(x_k^q, k-1\right) - z\left(x_k^0, k-1\right) + h_k(q)$, $d^* = q$, та $z^*(x,k) = z\left(x_k^q, k-1\right) + h_k(q)$. Тоді $x_k^{d^*}$ – новий покращений варіант. Розглянемо $W_2^{**} = W_2^* \setminus \{q\}$. У випадку $W_2^{**} = \varnothing$ – частковим розв'язком задачі (2)–(6) на k-ій ітерації буде $x_k^{d^*}$, а $z(x,k) = z^*(x,k)$. При $W_2 \neq \varnothing$ повторюємо цю процедуру.



* – оптимальні значення $k = 1$ перших елементів в x_k^0,

\+ – фіксовані значення для $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ в x_k^0.

Рис. 1. Графічна ілюстрація k-ої ітерації алгоритму

Алгоритм розв'язку задачі (2)–(6)

При $k = 1$ будуємо множини $W_1, W_3 (W_2 = \varnothing)$ та знаходимо розв'язок шляхом пошуку найкращого можливого мінімуму. $z(x,1) = \left| \min_{d \in W_1} h_k(d), \; x = \right.$ $= (d^*, x_2, x_3, \dots, x_n)$ і переходимо до кроку 4.

При значенні $k > 1$, використовуючи частковий розв'язок, отриманий на k-1 ітерації, будуємо множини W_1, W_2, W_3. За допомогою критерію h^* відсіюємо безперспективні варіанти і знаходимо $d^* = \left| \arg\min_{d \in W_1} h_k(d) \right.$, тобто застосовуючи процедуру аналізу W_1, отримуємо перший допустимий варіант для k-ої ітерації.

Застосовуємо процедуру аналізу W_2 і отримуємо частковий розв'язок задачі для k-ої ітерації: $x = (x_1, \dots, x_{k-1}, d^*, x_{k+1}, \dots, x_n)$.

Якщо $k = n$, то x розв'язок задачі, інакше $k = k + 1$ і переходимо до кроку 2.

Твердження. Для отримання розв'язку із заданою точністю P на кроці 3 наведеного алгоритму відсіюється множина W_2, якщо виконується критерій:

$$\Delta_k = \Delta_{k-1} + h^* - \min_{d \in W_2} h_k(d) \le P .$$

Висновки

Власне, запропонований алгоритм, що базується на засадах динамічного програмування, орієнтований на знаходження точного розв'язку задачі (2)–(6) шляхом цілеспрямованого перебору. Таким чином, перевагою саме цього алгоритму є конструювання та послідовний аналіз найперспективніших варіантів, тоді як процедури аналізу та відсіву, описані у [5], витрачають час також на генерування й відсів малоперспективних варіантів, та й ефективність цього відсіву залежить від ряду факторів. Тому для знаходження точного розв'язку та розв'язку із заданою точністю розроблений алгоритм має переваги в ефективності, що також підтверджується на експериментальних тестуваннях.

На вхідних даних, наведених у табл. 1 і табл. 2, задача (2)–(6) розв'язувалася системою [7] методом послідовного аналізу та відсіву варіантів [5]. На цих самих даних застосовано розроблений алгоритм у створеній авторами комп'ютерній системі. Отримані результати наведено відповідно на рис. 2 та рис. 3 і свідчать про ефективність описаного алгоритму: в першому випадку отримано наближений розв'язок, у другому – оптимальний.

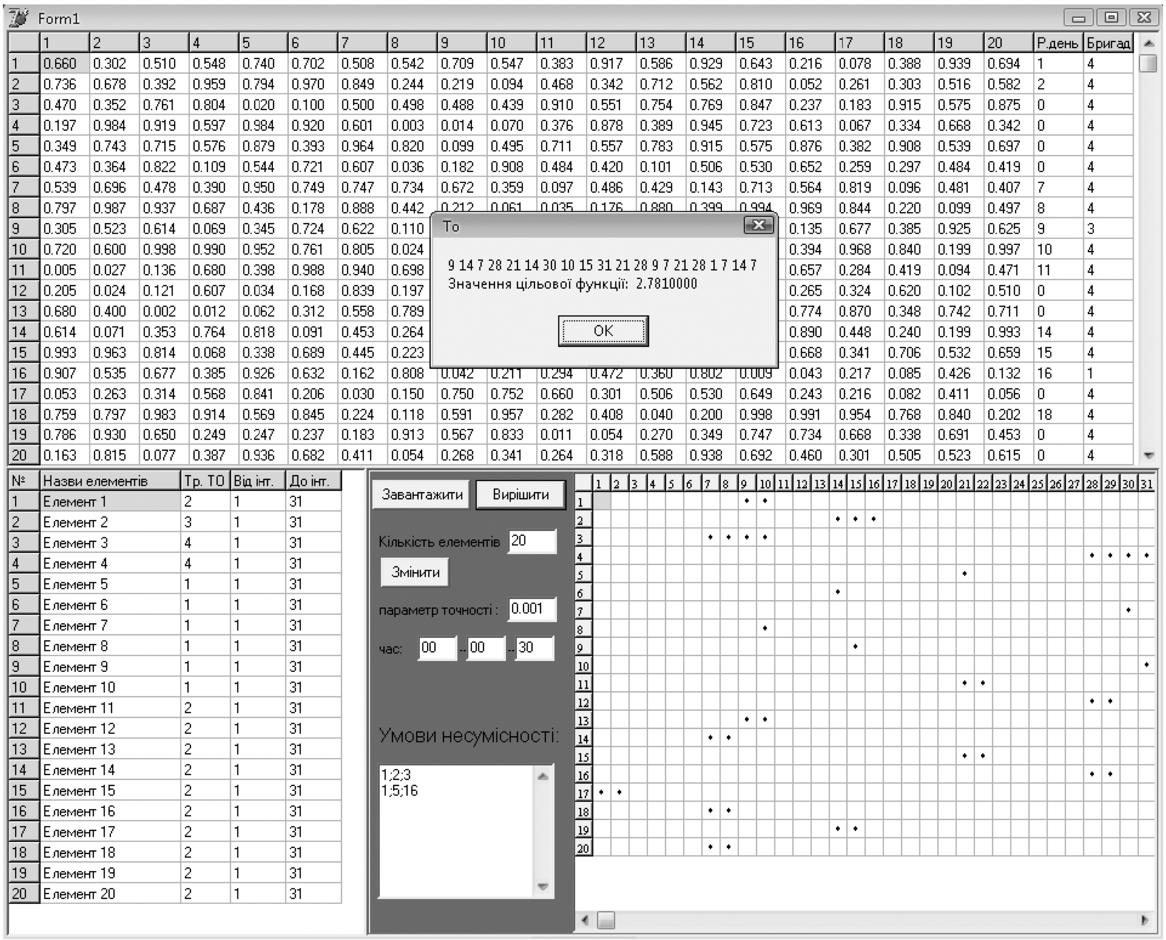


Рис. 2. Ілюстрація розв'язку задачі ТО алгоритмом, що базується на методі динамічного програмування, де значення цільової функції **2.781**

```
=============================================================================
# N% !   Названия    ! ШТРАФЫ ! Начало !    ПЛАН ТО НА январь 1991г.    !Дл.! N% #
# эл.!   ЭЛЕМЕНТОВ   !        ! /Конец !1 3 5 7 9 12 4 6 8 21 3 5 7 30 ! ТО! эл.#
#===========================================================================#
# 01 #  Елемент_1    !   .305 !  9  10 !........**.....................! 2 # 01 #
# 02 #  Елемент_2    !   .071 ! 14  16 !.............***...............! 3 # 02 #
# 03 #  Елемент_3    !   .478 !  7  10 !......****.....................! 4 # 03 #
# 04 #  Елемент_4    !   .111 ! 28  31 !...........................****! 4 # 04 #
# 05 #  Елемент_5    !   .224 ! 21  21 !....................*..........! 1 # 05 #
# 06 #  Елемент_6    !   .091 ! 14  14 !.............*.................! 1 # 06 #
# 07 #  Елемент_7    !   .037 ! 30  30 !.............................*.! 1 # 07 #
# 08 #  Елемент_8    !   .024 ! 10  10 !.........*.....................! 1 # 08 #
# 09 #  Елемент_9    !   .116 ! 15  15 !..............*................! 1 # 09 #
# 10 #  Елемент_10   !   .077 ! 31  31 !..............................*! 1 # 10 #
# 11 #  Елемент_11   !   .097 !  7   8 !......**.......................! 2 # 11 #
# 12 #  Елемент_12   !   .035 ! 28  29 !...........................**..! 2 # 12 #
# 13 #  Елемент_13   !   .073 !  9  10 !........**.....................! 2 # 13 #
# 14 #  Елемент_14   !   .143 !  7   8 !......**.......................! 2 # 14 #
# 15 #  Елемент_15   !   .101 ! 21  22 !....................**.........! 2 # 15 #
# 16 #  Елемент_16   !   .038 ! 28  29 !...........................**..! 2 # 16 #
# 17 #  Елемент_17   !   .078 !  1   2 !**.............................! 2 # 17 #
# 18 #  Елемент_18   !   .096 !  7   8 !......**.......................! 2 # 18 #
# 19 #  Елемент_19   !   .162 ! 21  22 !....................**.........! 2 # 19 #
# 20 #  Елемент_20   !   .427 ! 24  25 !.......................**......! 2 # 20 #
#===========================================================================#
#  Суммарный ШТРАФ  :  2.784 ! Дни -> ! 2 4 6 8 11 3 5 7 9 22 4 6 8 31!  Вид   #
# Средн.арифм.ШТРАФ : 10.365 !--------!------------------------------!получен.#
# Отклонен.от средн.: -7.581 !  Число :1 0 0 4 3 0 0 2 0 0 3 0 1 0 3 2!РЕШЕНИЯ:#
# Качество ПЛАНА (%): 86.052 ! бригад : 1 0 0 4 4 0 2 1 0 0 2 1 0 3 2 ! ПРИБЛ. #
=============================================================================
```

Рис. 3. Ілюстрація розв'язку задачі ТО методом послідовного аналізу та відсіву варіантів, де знайдено наближене рішення з сумарним штрафом **2.784**

Таблиця 1. **Значення функції (1) для кожного елемента по кожному дню інтервалу ТО, вихідні та святкові дні, кількість ремонтних бригад протягом інтервалу ТО**

	Ел. 1	Ел. 2	Ел. 3	Ел. 4	Ел. 5	Ел. 6	Ел. 7	Ел. 8	Ел. 9	Ел. 10	Ел. 11
1	0.660	0.302	0.510	0.548	0.740	0.702	0.508	0.542	0.709	0.547	0.383
2	0.736	0.678	0.392	0.959	0.794	0.970	0.849	0.244	0.219	0.094	0.468
3	0.470	0.352	0.761	0.804	0.020	0.100	0.500	0.498	0.488	0.439	0.910
4	0.197	0.984	0.919	0.597	0.984	0.920	0.601	0.003	0.014	0.070	0.376
5	0.349	0.743	0.715	0.576	0.879	0.393	0.964	0.820	0.099	0.495	0.711
6	0.473	0.364	0.822	0.109	0.544	0.721	0.607	0.036	0.182	0.908	0.484
7	0.539	0.696	0.478	0.390	0.950	0.749	0.747	0.734	0.672	0.359	0.097
8	0.797	0.987	0.937	0.687	0.436	0.178	0.888	0.442	0.212	0.061	0.035
9	0.305	0.523	0.614	0.069	0.345	0.724	0.622	0.110	0.549	0.744	0.483
10	0.720	0.600	0.998	0.990	0.952	0.761	0.805	0.024	0.120	0.601	0.127
11	0.005	0.027	0.136	0.680	0.398	0.988	0.940	0.698	0.488	0.441	0.985
12	0.205	0.024	0.121	0.607	0.034	0.168	0.839	0.197	0.987	0.936	0.353
13	0.680	0.400	0.002	0.012	0.062	0.312	0.558	0.789	0.945	0.723	0.550
14	0.614	0.071	0.353	0.764	0.818	0.091	0.453	0.264	0.320	0.599	0.556
15	0.993	0.963	0.814	0.068	0.338	0.689	0.445	0.223	0.116	0.581	0.967
16	0.907	0.535	0.677	0.385	0.926	0.632	0.162	0.808	0.042	0.211	0.294
17	0.053	0.263	0.314	0.568	0.841	0.206	0.030	0.150	0.750	0.752	0.660
18	0.759	0.797	0.983	0.914	0.569	0.845	0.224	0.118	0.591	0.957	0.282
19	0.786	0.930	0.650	0.249	0.247	0.237	0.183	0.913	0.567	0.833	0.011
20	0.163	0.815	0.077	0.387	0.936	0.682	0.411	0.054	0.268	0.341	0.264
21	0.703	0.514	0.569	0.845	0.224	0.119	0.595	0.975	0.873	0.367	0.077
22	0.833	0.163	0.817	0.084	0.422	0.109	0.547	0.733	0.663	0.316	0.057
23	0.581	0.904	0.518	0.591	0.957	0.786	0.929	0.647	0.235	0.175	0.496
24	0.873	0.364	0.818	0.092	0.459	0.294	0.468	0.341	0.703	0.516	0.439
25	0.582	0.910	0.549	0.745	0.726	0.629	0.145	0.726	0.630	0.151	0.135
26	0.755	0.775	0.873	0.364	0.819	0.095	0.473	0.365	0.826	0.131	0.887
27	0.653	0.264	0.318	0.588	0.938	0.691	0.455	0.275	0.377	0.887	0.225
28	0.433	0.164	0.822	0.111	0.555	0.777	0.883	0.413	0.065	0.323	0.807
29	0.615	0.077	0.384	0.919	0.594	0.969	0.843	0.216	0.080	0.400	0.830
30	0.998	0.989	0.944	0.720	0.601	0.007	0.037	0.186	0.931	0.655	0.960
31	0.274	0.372	0.858	0.291	0.455	0.274	0.369	0.843	0.215	0.077	0.698
	Ел. 1	Ел. 2	Ел. 3	Ел. 4	Ел. 5	Ел. 6	Ел. 7	Ел. 8	Ел. 9	Ел. 10	Ел. 11
1	0.917	0.586	0.929	0.643	0.216	0.078	0.388	0.939	0.694	1	4
2	0.342	0.712	0.562	0.810	0.052	0.261	0.303	0.516	0.582	2	4
3	0.551	0.754	0.769	0.847	0.237	0.183	0.915	0.575	0.875	0	4
4	0.878	0.389	0.945	0.723	0.613	0.067	0.334	0.668	0.342	0	4
5	0.557	0.783	0.915	0.575	0.876	0.382	0.908	0.539	0.697	0	4
6	0.420	0.101	0.506	0.530	0.652	0.259	0.297	0.484	0.419	0	4
7	0.486	0.429	0.143	0.713	0.564	0.819	0.096	0.481	0.407	7	4
8	0.176	0.880	0.399	0.994	0.969	0.844	0.220	0.099	0.497	8	4
9	0.415	0.073	0.365	0.827	0.135	0.677	0.385	0.925	0.625	9	3
10	0.637	0.187	0.936	0.679	0.394	0.968	0.840	0.199	0.997	10	4
11	0.923	0.613	0.066	0.331	0.657	0.284	0.419	0.094	0.471	11	4
12	0.767	0.834	0.171	0.853	0.265	0.324	0.620	0.102	0.510	0	4
13	0.750	0.750	0.751	0.755	0.774	0.870	0.348	0.742	0.711	0	4
14	0.779	0.895	0.476	0.378	0.890	0.448	0.240	0.199	0.993	14	4
15	0.833	0.165	0.827	0.134	0.668	0.341	0.706	0.532	0.659	15	4
16	0.472	0.360	0.802	0.009	0.043	0.217	0.085	0.426	0.132	16	1
17	0.301	0.506	0.530	0.649	0.243	0.216	0.082	0.411	0.056	0	4
18	0.408	0.040	0.200	0.998	0.991	0.954	0.768	0.840	0.202	18	4
19	0.054	0.270	0.349	0.747	0.734	0.668	0.338	0.691	0.453	0	4
20	0.318	0.588	0.938	0.692	0.460	0.301	0.505	0.523	0.615	0	4
21	0.385	0.924	0.620	0.101	0.505	0.526	0.632	0.162	0.811	21	3
22	0.287	0.434	0.169	0.845	0.226	0.129	0.644	0.220	0.099	22	4
23	0.479	0.395	0.976	0.882	0.408	0.039	0.196	0.978	0.888	0	4
24	0.196	0.980	0.901	0.504	0.519	0.595	0.977	0.885	0.427	24	4
25	0.673	0.366	0.829	0.146	0.729	0.643	0.215	0.075	0.377	25	1
26	0.436	0.181	0.903	0.516	0.582	0.908	0.538	0.689	0.445	0	4
27	0.124	0.620	0.098	0.489	0.443	0.214	0.070	0.352	0.761	0	4
28	0.035	0.176	0.882	0.408	0.038	0.189	0.943	0.713	0.566	28	3
29	0.152	0.762	0.808	0.038	0.191	0.957	0.784	0.918	0.592	29	3
30	0.799	0.997	0.985	0.924	0.618	0.091	0.454	0.268	0.340	30	2
31	0.492	0.458	0.292	0.459	0.295	0.473	0.367	0.834	0.170	31	2

Таблиця 2. **Тривалість та бажані інтервали ТО, несумісні елементи**

Елементи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Тривалість ТО	2	3	4	4	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Інтервал (від)	6	1	3	4	2	1	4	3	5	2	3	3	4	3	2	1	1	1	3	2
Інтервал (до)	25	28	19	31	31	31	31	31	31	31	31	31	29	28	31	31	27	30	29	28
Несумісність		3	2		16											5				

Список літератури

1. Абдалов Я. Т. Метод планирования технического обслуживания сети / Я. Т. Абдалов, В. А. Зеленцов // 12-я Всесоюзная школа-семинар по вычислительным сетям. – М.–Одесса, 1987. – Ч. 1. – С. 182–186.
2. Абраменко Б. С. Эксплуатация автоматизированных систем управления / Б. С. Абраменко, А. Я. Маслов, Л. Н. Немудрук. – СПб. : МО СССР, 1984. – 484 с.
3. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен ; [пер. с нем. М. Г. Коновалова]. – М. : Радио и связь,1988. – 392 с.
4. Барзилович Е. Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович, В. А. Каштанов. – М. : Советское радио, 1971. – 272 с.
5. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем / В. Л. Волкович, А. Ф. Волошин, В. А. Заславский, А. И. Ушаков. – К. : Наукова думка, 1992. – 312 с.
6. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем управления / В. Л. Волкович, А. Ф. Волошин, Т. М. Горлова и др. – К. : Наукова думка, 1984. – 216 с.
7. Диалоговый комплекс планирования технического обслуживания территориально-распределенных систем / С. В. Волкович, В. А. Заславський, В. А. Зеленцов, О. В. Франчук // Сб. научных докладов и сообщений 4-й национальной школы с международным участием «Системы автоматизации инженерного труда и научных исследований – Саитни-90». Болгария, Албена 1–6 октября 1990. – 1990. – С. 297–301.
8. Гагин А. А. Надежность, живучесть и техническое обслуживание сетей святи / А. А. Гагин, В. А. Зеленцов. – Министерство обороны СССР, 1991. – 169 с.
9. Михалевич В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. – М. : Наука, 1982. – 286 с.
10. Стоян Ю. Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев. – К. : Наукова думка, 1986. – 266 с.
11. Филин Б. П. Методы анализа структурной надежности сетей святи / Б. П. Филин. – М. : Радио и связь, 1988. – 208 с.
12. Яшин В. В. Техническое обслуживание электронных вычислительных машин / В. В. Яшин, Ю. А. Савинов // Техническое обслуживание машин, оборудования и приборов зарубежными фирмами. – М. : Внешторгреклама, 1978. – С. 189–219.

V. Gorborukov, O. Franchuk

THE PROBLEM OF SCHEDULING MAINTENANCE OF COMPLEX SYSTEMS

The problem of scheduling maintenance of complex systems, which is formalized in the class of discrete programming models with constraints combinatorial type, has been considered. The algorithm for solution this problem, based on the ideology of the method of dynamic programming, has been proposed.

Keywords: technical system**,** mathematical model, optimization, discrete programming, dynamic programming.

Матеріал надійшов 24.06.2013