

Тітова Л.Л.  
Роговський І.Л.  
Національний університет біоресурсів і природокористування України»

АЛГОРИТМ РОЗПОДІЛУ ОБ'ЄМІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

УДК 631.2.15

В статті представлені результати обґрунтування аналітичного підходу та кластерного алгоритму розподілу об'ємів відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт.

**Ключові слова:** машина, відновлення працездатності, кластерний алгоритм, ресурс.

**Постановка проблеми.** На стадії виконання технічного обслуговування і ремонтів машин для лісотехнічних робіт при виникненні відхилень від плану-графіка, користуються обґрунтованим алгоритмом, за яким можна оперативно перерозподілити програми і регулювати графік виконання відновлення працездатності.

Застосування обґрунтованого способу розподілу об'ємів відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт при плануванні технічної експлуатації невеликих парків машин можливо без автоматизації обчислень. Тому обґрунтування алгоритму доцільно здійснювати при незалежному розрахунку планів-графіків відновлення працездатності за адаптивною схемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільший ефект запропонованого способу дає при вирішенні задач для габаритних спеціалізованих парків машин з чітко вираженими періодичними властивостями загального потоку вимог [1, 2]. Для вирішення великорозмірних задач розроблена авторська програма TC Forest Machinery з використанням методів нелінійного програмування і теорії оптимального керування модульного організування засобами Borland Delphi 7, яка оформлена окремим модулем і може використовуватись в якості типового блока оптимізації програм ТО і ремонтів будь-яких машин [3], охоплених системою ППР [4], незалежно від їх призначення [5]. Така програма покладена в основу розрахунку місячних планів-графіків ППР на першому етапі створення АСУ в ДП Лугинське ТОВ «Європейська лісопереробна група».

**Метою досліджень** є обґрунтування аналітичного підходу та кластерного алгоритму розподілу об'ємів відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт.

**Результати досліджень.** Способи ТО можуть розрізнятись за місцем їх виконання (на об'єктах робіт, базі ПМС, в мобільних блоках) і пов'язані із забезпеченістю ресурсами. При спільному розрахунку планів-графіків робіт і відновлення працездатності слід передбачати ефективні способи виконання ТО в залежності від структури робіт і організації служб технічної експлуатації.

Для обліку ресурсів стаціонарних і мобільних майстерень, а також інших засобів ТО, достатньо вказати їх часткову участь у виконанні добових програм  $\delta_\rho$  (де  $\rho$  – номер способу;  $\sum \delta_\rho = 1$ ) і відобразити його в умові. В результаті рівномірно розподілені добові програми ТО будуть додатково вирівняні за способами виконання.

Критерієм оптимізації вирішення загальної задачі є показник собівартості експлуатації парку машин, відображаючи вміст основних компонентів оптимізації планів-графіків робіт і відновлення працездатності.

Кожен компонент діє на певну частину витрат в складі собівартості. По відношенню витрат до змінних шуканого рішення їх слід розбити на ряд груп:

- витрати на виробництво робіт;
- витрати на перебазування;

**Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів**  
 Technical service of agriculture, forestry and transport systems

- витрати на ТО, які залежать від способу виконання;
- витрати на ТО, як залежать від терміну виконання;
- витрати від недовантаження машин в плановому періоді.

Таке групування не суперечить загальноприйнятій структурі витрат.

Отже, парку машин для лісотехнічних робіт  $\beta = \overline{1, N}$  на період  $G = \{1, \dots, g, \dots, n^g\}$ , де  $g$  – номер робочого дня, задана робоча програма робіт  $\Pi$  у вигляді територіально-розсосереджених об'єктів робіт  $\{\lambda, K, l\} \in \Pi$  із встановленими термінами виконання  $[T_\lambda^H, T_\lambda^K]$ . Кожна машина на початку планового періоду знаходиться на вихідному об'єкті  $O_\beta$ , може бути використана після завершення робіт попереднього планового періоду на ньому починаючи з часу  $T_\beta^H$ , якому відповідає на ТО  $t_\beta^H$ , і закінчуючи часом  $T_\beta^K$ . Кожна машина повинна пройти чергове ТО типу  $S \in \Pi_\beta^{TO}$ , де  $\Pi_\beta^{TO} = \{1, \dots, S, \dots, n^S\}$  – підмножина ТО машини  $\beta$  в плановому періоді, з трудомісткістю  $t_{\beta S}$  люд.-год через  $\tau_{\beta S}$  маш.-год. Чистої роботи після останнього ТО в попередньому плановому періоді, з врахуванням допустимих відхилень в ту чи іншу сторону  $\tau_{\beta S}^+$  і  $\tau_{\beta S}^-$  маш.-год. В сукупності ТО утворюють детермінований потік вимог, який повинен підтримуватись на постійному рівні із середньою інтенсивністю  $v_i^c$ , заданою для груп, діючих машин  $P_i$ , де  $i = \overline{1, m}$  – номер групи з однаковою періодичністю ТО:  $P_i = \left\{ \frac{\beta}{\tau_{\beta S}} = \tau_i \right\}$ , де  $\tau_{\beta S}$  – нормативна періодичність ТО  $S$  машин  $\beta$  в маш.-дні. Кожне ТО може бути виконане одним із способів  $\rho$ , приналежним множині допустимих способів ТО  $Q^{TO}$ . Витрати при цьому складатимуть  $C_{\beta S \rho}^{TO}$  грн., а періодичність  $t_{\beta S \rho}^{TO}$  год. Також відомі усі допустимі способи робіт  $Q$ , матриці тривалості  $\|t_{\beta \lambda}\|$  в годинах та витрат  $\|C_{\beta \lambda}\|$  в гривнях на перебазування машин між об'єктами робіт, витрати в гривнях від 1 маш.-год простою машини із-за недовантаження  $C_{\beta}^{np}$ ,  $\beta = \overline{1, N}$ , функція штрафів в гривнях із-за недотримання термінів ТО  $C_{\beta S}^{TO}(T_{\beta S}^{TO})$ ,  $\beta = \overline{1, N}$ ,  $S \in \Pi_\beta^{TO}$ .

На виконання ТО і перебазування машин виділені ресурси робочого часу в частковій часті  $\delta_\rho$  для кожного способу ТО  $\rho = \overline{1, n^\rho}$  і в натуральному виразі  $\Phi_g^{PB}$  (год) для засобів транспортування на усі дні планового періоду  $g = \overline{1, n^g}$ . Необхідно визначити оптимальне (за критерієм собівартості) розклад експлуатації машин  $M_\beta$ ,  $\beta = \overline{1, N}$ , який включає вихідний об'єкт робіт  $Q_\beta$ , підмножину робіт  $\Pi_\beta$  з вимогами  $\bigcap_{\beta} \Pi_\beta = \emptyset$  і множину ТО  $\Pi_\beta^{TO}$ :  $M_\beta = O_\beta \cup \Pi_\beta \cup \Pi_\beta^{TO}$ . Можливий вигляд шуканого розкладу і змінними в задачі є наступні параметри розкладу:

$T_{\beta \lambda}$  – час початку виконання роботи  $\lambda$  машиною  $\beta$ , год;

$T_{\beta \lambda}^D$  – час доставки машини  $\beta$  на об'єкт  $\lambda$ , год;

$T_{\beta S}^{TO}$  – час початку  $S$ -го в порядку проходження ТО машин  $\beta$ , год.

Функція мети – мінімум собівартості експлуатації парку машин:

**Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів**  
 Technical service of agriculture, forestry and transport systems

$$\sum_{\beta=1}^N \left\{ \sum_{(\lambda, K \in \Pi_{\beta})} [C_{\beta\lambda K} + C_{\beta K}] + C_{\beta}^{np} t_{\beta}^{np} + \sum_{(S, \rho, K \in \Pi_{\beta}^{TO})} [C_{\beta S \rho K}^{to} + f(T_{\beta S}^{TO})] \right\} \rightarrow \min \quad (1)$$

де:  $t_{\beta}^{np}$  – час простою машин  $\beta$  із-за недовантаження в плановому періоді, маш.-год.

Система обмежень: програма робіт, встановлена календарними планами зведення об'єктів, повинна бути виконана повністю:

$$\bigcup_{\beta} \Pi_{\beta} = \Pi \quad ; \quad (2)$$

в розклад повинні ввійти допустимі способи робіт:

$$(\beta, \lambda) \in Q, \forall \lambda \in \Pi_{\beta}, \beta = \overline{1, N}; \quad (3)$$

роботи повинні виконуватись в задані терміни:

$$T_{\lambda}^H \leq T_{\beta\lambda}, T_{\beta\lambda} + t_{\beta\lambda} \leq T_{\lambda}^K, \beta = \overline{1, N}, \lambda \in \Pi_{\beta}; \quad (4)$$

в розклад повинні ввійти допустимі способи виконання ТО:

$$(\beta, S, \rho, \lambda) \in Q^{TO}, \forall \lambda \in \Pi_{\beta}, (S, \rho) \in \Pi_{\beta}^{TO}, \beta = \overline{1, N}, \quad (5)$$

ТО повинні проводитись у певні інтервали часу:

$$\tau_{\beta S} - \tau_{\beta S}^{-} \leq t_{\beta}^H + T_{\beta S}^{TO} - t_{\beta S}^{BM} \leq \tau_{\beta S} + \tau_{\beta S}^{+}, \beta = \overline{1, N}, \quad (6)$$

де:  $t_{\beta S}^{BM}$  – тривалість усіх простоїв з початку планового періоду до початку ТО  $S$  машини  $\beta$ , маш.-год; потреба в перебезуванні машини повинна бути забезпечена ресурсами робочого часу засобів транспортування:

$$\sum_{(\beta, \lambda, K) \in \Pi_g^{PB}} t_{\beta\lambda K} \leq \Phi_g^{PB}, g = \overline{1, n^g}, \quad (7)$$

де:  $\Pi_g^{PB}$  – програма перебезування на робочий день  $g$ ; потік вимог на проведення ТО повинен підтримуватись на постійному рівні, гарантуючому рівномірний розподіл об'ємів добових програм ТО під час і за способами виконання:

$$v_1^c \delta_{\rho} \leq x_{i\rho g} \leq v_2^c \delta_{\rho}, i = \overline{1, m}, \rho = \overline{1, n^{\rho}} \quad (8)$$

де:  $x_{i\rho g}$  – кількість машин з групи  $P_i$ , призначених на ТО способом  $\rho$  в робочий день  $g$ ;  $v_1^c, v_2^c$  – найближчі менші і більші показники  $v_i^c$  в цілих числах; обмеження на змінні:

$$T_{\lambda}^H \leq T_{\beta\lambda}, T_{\beta\lambda}^D, T_{\beta S}^{TO} \leq T_{\beta}^K, T_{\beta\lambda}^D \leq T_{\beta\lambda}^K, \beta = \overline{1, N}, \lambda \in \Pi_{\beta}, S \in \Pi_{\beta}^{TO}. \quad (9)$$

За формальним змістом задача (1) – (9) відноситься до області теорії розкладів, класу задач виконання незалежних робіт паралельними машинами для лісотехнічних робіт. Відомими методами її вирішити неможливо. Тому розроблений спеціальний алгоритм, який діє за схемою метода «розгалужень (гілок) і меж». Шлях  $\Theta$  – тривалість робочого дня (маш.-год), а  $Z$  – кількість, яка складається із символів  $\Pi^H, O_\beta, P(\lambda), TO(S, \rho, K), ПБ(\lambda, K)$ , де  $\beta = \overline{1, N}$ ;  $(\lambda, K) \in \Pi$ ;  $(S, \rho, K) \in Q^{TO}$ .

Розкладом буде називатись відображення  $F : \overline{1, N} \times \overline{1, n^s} \Theta \rightarrow Z$ , при цьому символам  $Z$  надається наступний сенс: якщо  $F(\beta, t) = ПП$ , то машина  $\beta$  в момент часу  $t$ , відповідно, працює на об'єкті  $\lambda$ , проходить ТО  $S$  способом  $\rho$  на об'єкті  $K$ , переbazується з об'єкта  $\lambda$  на об'єкт  $K$ .

Сукупність умов, сформованих в системі обмежень задачі (2) – (9), позначена як ДОП і буде називатись умовами допустимості. Розклад  $F$ , що задовольняє умовам допустимості ДОП, є допустимим розкладом.

Для кожного допустимого розкладу  $F$  і кожного  $\beta \in \overline{1, N}$  визначені множини  $\Pi_\beta^{ПБ}(F)$  і  $\Pi_\beta^{TO}(F)$ . Множина  $\Pi_\beta^{ПБ}(F)$  складається із усіх пар  $(\lambda, K)$ , таких, що для деякого  $t$   $F_\beta(t) = ПБ(\lambda, K)$ . Множина  $\Pi_\beta^{TO}(F)$  складається із усіх сполучень  $(S, \rho, K)$ , таких що для деякого  $t$   $F_\beta(t) = TO(S, \rho, K)$ .

Цільова функція  $L(F)$  визначається наступною рівністю:

$$L(F) = \sum_{\beta=1}^N \left\{ \sum_{(\lambda, K) \in \Pi_\beta^{ПБ}(F)} (C_{\beta\lambda K} + C_{\beta K}) + C_\beta^{ПП} t_\beta^{ПП} + \sum_{(S, \rho, K) \in \Pi_\beta^{TO}(F)} [C_{\beta S \rho K}^{TO} + f(T_{\beta S}^{TO})] \right\}, \quad (10)$$

де:  $t_\beta^{ПП}$  – сумарний час простоїв машин  $\beta$  (тобто  $t_\beta^{ПП} = |\{II\}|$ );  $T_{\beta S}^{TO}$  – час початку ТО  $S$  машини  $\beta$  (тобто  $T_{\beta S}^{TO} = \min\{t : F_\beta(t) = TO(S, \rho, K)\}$  для усіх  $\rho$  і  $K$ ). Завдання полягає в тому, щоби знайти допустимий розклад  $L(\hat{F}) = \min L(F)$ . Визначивши поняття розкладу як відображення, що складають кожну пару  $(\beta, t)$  з деяким елементом множини  $Z$ , необхідно впорядкувати множину пар  $(\beta_1, t_1)$ , якщо  $t_0 < t_1$  або ж  $t_0 = t_1$  і  $\beta_0 < \beta_1$ , тобто  $(\beta_0, t_0) < (\beta_1, t_1)$ . Пара  $(\beta_1, t_1) = (\beta, t) \oplus 1$ , якщо  $(\beta_1, t_1) > (\beta, t)$  і не існує пари  $(\beta_2, t_2)$ , такий, що  $(\beta_1, t_1) > (\beta_2, t_2) > (\beta, t)$ . З іншої сторони,  $(\beta_1, t_1) = (\beta, t) \ominus 1$ , якщо  $(\beta, t) = (\beta, t) \oplus 1$ . Вважається, що задано окреме  $(\beta_0, t_0)$  – розклад, якщо для усіх  $(\beta, t) < (\beta_0, t_0)$  визначено  $F_\beta(t) \in Z$ . Окреме  $(\beta_0, t_0)$  – розклад допустимий, якщо задовольняє умовам ДОП. Розклад  $F$  називається продовженням окремого  $(\beta_0, t_0)$  – розклад, якщо  $\forall (\beta, t) < (\beta_0, t_0) \bar{F}_\beta(t) = F_\beta(t)$ .

Кластерний алгоритм. Крок. 1. Положити  $L \rightarrow \infty, \beta_0 = 1, t_0 = 1, V_{\beta_0}(t_0) = Z$ . Переходимо до виконання кроку 2.

З'ясувати, лише множину  $V_{\beta_0}(t_0)$  або ні. Якщо  $V_{\beta_0}(t_0) \neq \emptyset$ , перейти до виконання кроку 3, в іншому випадку – крок 8.

Крок 3. Використовуючи правило розгалуження, вибрати елемент  $\beta \in V_{\beta_0}(t_0)$  і покласти  $F_{\beta_0}(t_0) = \beta, V_{\beta_0}(t_0) = V_{\beta_0}(t_0) - \{\beta\}$ . Перейти до виконання кроку 4.

Крок 4. Перевірити чи отримане окреме  $V_{\beta_0}(t_0)$  – розклад допустимим. Якщо так, то перейти до виконання 6, якщо ні – крок 5.

Крок 5. Обчислити  $V_{\beta_0}(t_0) = V_{\beta_0}(t_0) \ominus 1$  і перейти до виконання кроку 2.

Крок 6. Обчислити  $L^-(F)$ . Якщо  $L^-(F) \geq L$ , то покладемо  $V_{\beta_0}(t_0) = V_{\beta_0}(t_0) \ominus 1$  і перейти до виконання кроку 2. Якщо ж  $L^-(F) < L$  то  $V_{\beta_0}(t_0) = V_{\beta_0}(t_0) \oplus 1$ ,  $V_{\beta_0}(t_0) = Z$  і перейти до виконання кроку 7.

Крок 7. Якщо  $V_{\beta_0}(t_0) \leq (N, n^s \Theta)$  то перейти до виконання кроку 2, якщо  $V_{\beta_0}(t_0) > (N, n^s \Theta)$ , запропонуємо  $\tilde{F} = F$ ,  $L = L(\tilde{F})$ ,  $V_{\beta_0}(t_0) = V_{\beta_0}(t_0) \ominus 1$  і перейти до виконання кроку 6.

Крок 8. Якщо  $t_0 = 0$  і розклад  $\tilde{F}$  визначено, то задача має рішення і  $\tilde{F}$  є оптимальним розкладом. Якщо  $\tilde{F}$  не визначено, то умови ДОП несумісні і задача має рішення. Якщо  $t_0 > 0$ , прийнемо  $V_{\beta_0}(t_0) = V_{\beta_0}(t_0) \ominus 1$  і перейти до кроку 2.

Реалізація запропонованого алгоритму обмежена наступними верхніми межами: об'єм програми робіт – 499; число машин в парку ДП Лугинське ТОВ «Європейська лісопереробна група» – 99. Вони відповідають реальним умовам експлуатації парку машин в підрозділах лісопромислового виробництва.

**Висновок.** Завдання в постановці (1) – (9) адекватно відображає загальний процес використання парку машин в ДП Лугинське ТОВ «Європейська лісопереробна група» за часом. Крім свого прямого призначення сконструйована динамічна модель може бути застосована для вирішення інших задач оптимального використання парку машин для лісотехнічних робіт, забезпечуючи певну масовість розробленого алгоритму. Вважаючи застосованими ті чи інші моделі, можна отримати їх оптимальне за прийнятим критерієм стану. Наприклад, вирішити задачу визначення областей ефективного застосування способів виконання ТО, використовуючи заданий блок-генератор варіантів цільової участі останніх. Аналогічно можуть бути вирішені і інші задачі (розрахунок потреби в засобах експлуатації машин, визначення складу парку машин під задану програму робіт та ін.).

### Література

1. Тітова Л.Л. Обґрунтування технічних заходів підтримання працездатності машин для лісотехнічних робіт / Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 160. – С. 189–195.
2. Тітова Л.Л. Інновацій їсть типів технічних засобів відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт / Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський // Збірник тез доповідей III-ї міжнародної наукової конф. «Інноваційний розвиток аграрної сфери» (19-21 березня 2015 р.) / НДІ техніки, енергетики та інформатизації АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2015. – С. 52–54.
3. Тітова Л.Л. Аналіз періодичності техобслуговування машин для лісотехнічних робіт / Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2015. – Вип. 212, ч. 1. – С. 322–328.
4. Тітова Л.Л. АСПР в системі відновлення працездатності лісових МЕЗ / Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський // Тези III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми конструювання, експлуатації та ремонту обладнання лісового комплексу». – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – С. 57–60.

**Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів**  
Technical service of agriculture, forestry and transport systems

5. Тітова Л.Л. Методичні положення потреби в мобільних засобах техобслуговування лісових МЕЗ / Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 3. – С. 146–152.

**Titova L.L., Rogovskii I.L. Algorithm of distribution of volumes maintenance of machinery for timber works**

In paper the results of justification of analytical approach and cluster algorithm of distribution of volumes of maintenance of machinery for timber works are presented.

**Keywords:** car, disaster recovery, кластерный algorithm resource.

**References**

1. LL Titova Justification technical measures to maintain the efficiency of machines Forestry Works / LL Titov, IL Rogovskiy // Journal of Kharkov National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko. - H .: KNTUA, 2015. - Vol. 160. - P. 189-195.
2. LL Titova Innovation eats types of means of recovery machines for Forestry Works / LL Titov, IL Rogovskiy // Collection of abstracts of III-th International scientific conference. "Innovative development of the agricultural sector" (19-21 March 2015) / Research Institute of Technology, Energy and Information AIC National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. - K., 2015. - P. 52-54.
3. LL Titova Analysis of the frequency of servicing machines Forestry Works / LL Titov, IL Rogovskiy // Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Power equipment and agribusiness. - K., 2015. - Vol. 212, p. 1. - P. 322-328.
4. L. Titova ASPR system recovery forest MEW / LL Titov, IL Rogovskiy // Proceedings of III All-Ukrainian scientific-technical conference "Actual problems of construction, operation and maintenance of equipment forest complex." - Lutsk Lutsk RIO NTU, 2015. -C. 57-60.
5. L. Titova Methodical provision needs of mobile maintenance wood MEW / LL Titov, IL Rogovskiy // Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Power equipment and agribusiness. - K., 2014. - Vol. 196, p. 3. - P. 146-152.