

УДК 621.4.007

© Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський, к.т.н., О.В. Надточій, к.т.н.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

ІМІТАЦІЙНІСТЬ МІСЦЕПЕРЕБУВАННЯ ЗАСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

Розглянуто аналітичні методи обґрунтування раціонального місцеперебування мобільного засобу відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт. Деталізовано практичність методів медіан, гравітації та градієнтний для імітаційного моделювання із застосуванням сучасних прикладних програмних технологій. Визначена перспективність використання градієнтного методу з подальшим його вдосконаленням.

ОПТИМІЗАЦІЯ, МЕТОД МЕДІАН, МЕТОД ГРАВІТАЦІЇ, ГРАДІЄНТ, ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ, ГОТОВНІСТЬ.

Постановка проблеми. Задача обґрунтування раціонального місцеперебування мобільного засобу відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт (далі – МЗ), як територіально різноманітних технічних об'єктів в сьогоденні є актуальною [1]. Наприклад, підприємства техсервісу, запасних частин чи інші об'єкти, що забезпечують лісопромислове виробництво повинні розташовуватися так, щоб споживачі послуг могли їх отримувати з певним ступенем доступності, і, з цього погляду, що більше їх, то краще. Однак наявний дуалізм між доступністю послуги (швидкістю доступу) та рентабельністю, оскільки чим менше таких об'єктів в регіоні техсервісу, тим вони більші, а собівартість їх утримання нижча.

Аналогічні задачі виникають також у керівників комерційних фірм: проблеми розміщення мереж бензозаправок, торгових відділень великих торгових фірм, філій банків, будівельних, транспортних компаній тощо. Ці приклади доповнює ряд завдань, пов'язаних з розміщенням складських підприємств, комплексів, транспортних вузлів, і всі вони потребують розв'язання задач розміщення з подібними критеріями якості.

Розглядаючи задачу місцеперебування МЗ в лісовому масиві, де працює декілька механізованих бригад зі своїми машинами для лісотехнічних робіт (далі – машин), можна розглянути декілька варіантів організації відновлення працездатності машин. Перший варіант коли машина, що потребує відновлення працездатності,

самостійно рухається до умовного місцеперебування МЗ. Другий – МЗ рухається до машини, яка потребує відновлення працездатності.

Обидва варіанти різняться лише організаційно. Зважаючи на одну з вимог сучасного технічного сервісу, а саме зручність, коли сервіс має надаватися в тому місці і в такий час та в такій формі, яка вигідна клієнту, тобто краще приймати другий варіант надання сервісних послуг. Задача місцеперебування МЗ є задачею розміщення, при вирішенні якої, слід оптимізувати мінімальні транспортні витрати, тобто мінімізацію часу відгуку від моменту отримання заявки на послуги, до моменту її отримання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Будь-яку задачу про визначення раціонального місцеперебування і подальшого розміщення там одного або декількох МЗ називають задачею про оптимальне розміщення [2]. Задача місцеперебування МЗ може формулюватися, як пошук оптимального рішення, або ж як пошук субоптимального рішення [3].

Частина розробок методів розміщення була направлена на адаптацію методів, запозичених з інших наук. В основі цих методів, зазвичай лежить аксіоматика, яка не може повною мірою охопити усі закономірності відновлення працездатності машин [4]. Тому ці методи мають дуже вузьку сферу застосування і не можуть бути використані для визначення розташування МЗ в технічній системі [5]. Іншим напрямком в розробці методів вирішення задачі розміщення є використання сучасних математико-статистичних положень теорії ігор, географічних інформаційних систем, системного аналізу тощо.

Використання цих методів ускладнюється необхідністю великої кількості вихідних статистичних даних, що потребує значних капітальних видатків для збору і обробітку інформації [6].

Мета дослідження – сформулювати аналітичність положень методів обґрунтування раціонального місцеперебування МЗ.

Результати дослідження. В практиці найбільш розповсюдженими методами вибору місця розміщення МЗ є метод медіан і метод гравітації, що засновані на математиці, механіці і фізиці. Групи машин за механізованими бригадами для обробітку лісового масиву, що потребують відновлення працездатності, являють собою сукупність точок, що лежать в площині лісового масиву. Тому метод медіан полягає в розбитті цих точок на трійки (вершини трикутників) і знаходження в кожному з цих трикутників точки перетину медіан. Далі отримані точки перетину медіан знову обирають в якості вершин трикутників. Це продовжують до тих пір, доки не лишиться єдина точка. Однак слід врахувати що таке можливо. Коли початкова

кількість таких груп непарна, в іншому випадку кінцевим центром буде середина прямої яка спирається на останні дві вершини трикутників. Це слід враховувати при розробці автоматизованої програми. В будь-якому випадку ця точка, згідно цього методу буде оптимальним місцеперебуванням МЗ.

Метод передбачає кількість груп $3k$, де k – довільне ціле число. Медіани у трикутнику, який розглядається, визначається за рівнянням: $ax+b=y$. Точка перетину цих прямих є рішенням системи рівнянь

$$\begin{cases} a_1x+b=y \\ a_2x+b=y \end{cases} . \text{ При цьому сумарна віддаль від сервісного центру до груп}$$

машин, що обслуговуються визначаються за залежністю:

$$\sum L = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \quad (1)$$

де: a – кількість груп; $(x_i; y_i)$ – координати i -ї групи; $(x_c; y_c)$ – координати розрахованого місцеперебування МЗ.

Так отримано наступну імітаційну модель (табл. 1), за якої 5 груп машин, яка працює в лісовому масиві на вирубці лісу і лісовідновленні. Дані координати точок в яких працює ця техніка.

Таблиця 1 – Координати точок імітаційної моделі

№	Населений пункт	X _i	Y _i
1	Бригада №1	2,85	8,6
2	Бригада №2	10,05	12,5
3	Бригада №3	15,25	11,5
4	Ланка вирубки	14,6	0,4
5	Ланка лісовідновлення	3,45	2,5

Математичну імітаційну модель методу медіан реалізуємо за допомогою математичного пакету MathCAD 15. Введення координат груп (табл. 1) здійснюємо у два масиви X та Y. Кількість елементів у обох масивах рівна 5. Далі, за допомогою програмного фрагменту (рис. 1) описується наступний алгоритм вирішення задачі:

а) вибираються перші три елементи масиву X і Y ($\Delta 123$). Далі використовуємо підпрограму розрахунку обчислення точки перетину медіан, використовуючи залежність:

$$M(x_c, y_c) = M\left(\frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}\right);$$

ORIGIN := 1

$$X := \begin{pmatrix} 2.85 \\ 10.05 \\ 15.25 \\ 14.6 \\ 3.45 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 8.6 \\ 12.25 \\ 11.5 \\ 0.4 \\ 2.5 \end{pmatrix}$$

Підпрограма обчислення центру трикутника

$$\text{Med}(x,y) := \begin{cases} X \leftarrow \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \\ Y \leftarrow \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \\ M \leftarrow \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \end{cases}$$

Підпрограма розрахунку координат вписаного трикутника

$$C := \begin{cases} a \leftarrow 1 \\ \text{for } j \in 1..3 \\ \quad \begin{cases} x \leftarrow \begin{pmatrix} X_1 \\ X_{1+a} \\ X_{2+a} \end{pmatrix} \\ y \leftarrow \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_{1+a} \\ Y_{2+a} \end{pmatrix} \\ SS_j \leftarrow \text{Med}(x,y) \\ a \leftarrow a + 1 \end{cases} \\ SS \end{cases}$$

$$SL := \sum_{i=1}^5 \sqrt{(X_i - \text{Centr}_2)^2 + (Y_i - \text{Centr}_1)^2}$$

$$SL = 36.067$$

$$\text{Centr} := \begin{cases} a \leftarrow 1 \\ \text{for } j \in 1..3 \\ \quad \begin{cases} x \leftarrow \begin{pmatrix} X_1 \\ X_{1+a} \\ X_{2+a} \end{pmatrix} \\ y \leftarrow \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_{1+a} \\ Y_{2+a} \end{pmatrix} \\ SS_j \leftarrow \text{Med}(x,y) \\ a \leftarrow a + 1 \end{cases} \\ X \leftarrow \begin{pmatrix} (SS_1)_1 \\ (SS_2)_1 \\ (SS_3)_1 \end{pmatrix} \\ Y \leftarrow \begin{pmatrix} (SS_1)_2 \\ (SS_2)_2 \\ (SS_3)_2 \end{pmatrix} \\ \text{ITOG} \leftarrow \text{MMed}(X,Y) \end{cases}$$

Рис. 1 – Лістинг програми за методом медіан

б) почергово обчислюємо координати трикутників $\Delta 123$, $\Delta 134$, $\Delta 145$, при цьому заносючи координати точок перетину медіан у масиви C_1 , C_2 , C_3 відповідно;

в) результатом обчислення є трикутник з вершинами C_1 , C_2 , C_3 (9,383; 10,783; 10,9; 6,833; 6,967, 3,833): використовуючи підпрограму

Сентр знаходимо координати сервісного центру, по закінченню циклу в матрицю ІТОГ заносяться координати центру;

г) за формулою (3) знаходимо сумарну відаль від центру до кожної з груп машин (рис. 2).

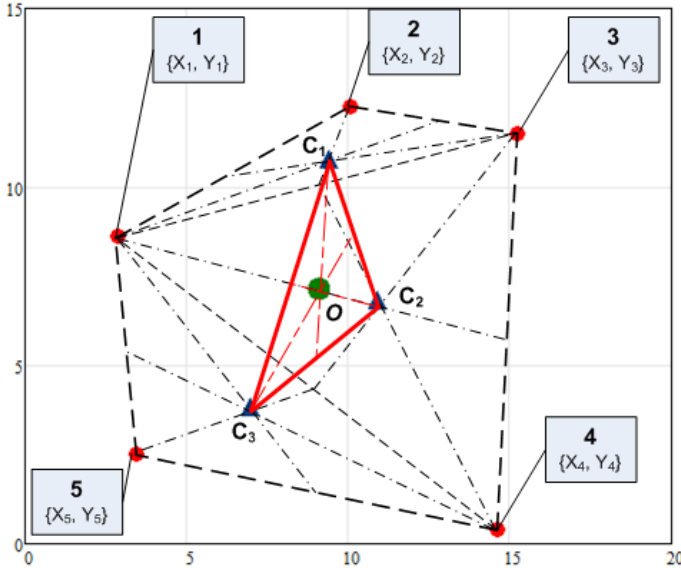


Рис. 2 – Результат розрахунку імітаційної моделі методом медіан

Результатом роботи імітаційної моделі (рис. 2) є т. O з координатами $\{9,083; 7,15\}$, при цьому сумарна віддаль склала 36,067. Центр маси – геометрична точка, положення якої характеризує розподіл маси в технічній системі (використовується для визначення місця перебування одного МЗ). Типовий критерій оптимізації – мінімізація суми відстаней від сервера до усіх машин, тобто враховує взаємну гравітацію об’єктів системи (вагомість групи машин).

Суть методу аналогічного визначення центру ваги фізичного тіла: в місцях розташування споживачів потоку обслуговування закріплюють МЗ, вага яких пропорційна величині споживаного в даному пункті потоку обслуговування і модель врівноважують. Якщо МЗ розмістити в точці, яка відповідає центру тяжіння виготовленої моделі, то витрати по розподілу матеріального потоку на окресленій території будуть мінімальні. При використанні цього методу необхідно врахувати неминучу похибку, яка буде внесена вагомістю обраної для

основи моделі. Ця похибка виразиться присутністю на моделі уявного споживача послуг, розташованого в центрі ваги самої пластини і з потребами, пропорційними її вазі. Похибка буде тим менша, чим менша вагомість моделі. Тому за цим методом для відновлення працездатності n машин із заданими координатами (x_i, y_i) на площині й ваговими коефіцієнтами m_i (кількість машин в групі), $i = 1, \dots, n$, «зважені» координати центру обчислюють за відомими формулами:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} ; y_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} . \quad (2)$$

Якщо імітаційна модель передбачає, що в лісовому масиві працює 5 груп машин (табл. 1) і зазвичай кожна із груп містить випадкову кількість машин. Іншими словами вагомості кожної з груп не рівні між собою. Це вплине на розміщення МЗ. Додамо в нашу модель довільну кількість машин (табл. 2). Це має впливати на модель шляхом виникнення певних зон тяжіння кратних кількості машин у групах. Математичний розв'язок імітаційної моделі центру гравітації подано в лістингу рис. 3.

Таблиця 2 – Вихідні дані імітаційної моделі

№	Населений пункт	Кількість техніки	X _i	Y _i	X _C	Y _C
1	Бригада №1	4	2,85	8,6	11,4	34,4
2	Бригада №2	2	10,05	12,5	20,1	25
3	Бригада №3	3	15,25	11,5	45,75	34,5
4	Ланка вирубки	12	14,6	0,4	175,2	4,8
5	Ланка лісовідновлення	5	3,45	2,5	17,25	12,5

Для порівняння на рис. 3 подано відразу два центра розраховані попереднім методом медіан та методом гравітації. Координати останнього становлять {10,358; 4,258}. Порівнюючи два методи відмічаємо різні значення розв'язку однієї і тієї ж задачі, однак другий метод враховує кількість машин, що працюють у групі і більш адекватно відображає фізичну модель. Задача місця перебування МЗ розглянутими двома методами вирішується, але сама задача у такому вигляді є досить спрощеною. Реальна фізична модель набагато складніша і нелінійна, яка викликана складними взаємовідносинами між величинами, що характерно для технічних систем. Отримання глобального оптимуму цілком залежить від функціональних особливостей цільової функції і тих обмежень, які накладаються на

імітаційну модель. Для пошуку оптимуму нелінійної задачі скористаємось удосконаленням методу спряжених градієнтів Флетчера-Рівса із застосуванням ітераційного типу Лесдона, пристосованим для програми надбудови Excel Solver. У порівнянні із методом гравітації цей метод більш адекватно, а головне, з можливістю врахування обмежень на шукані невідомі, розв'язується як задача нелінійного програмування.

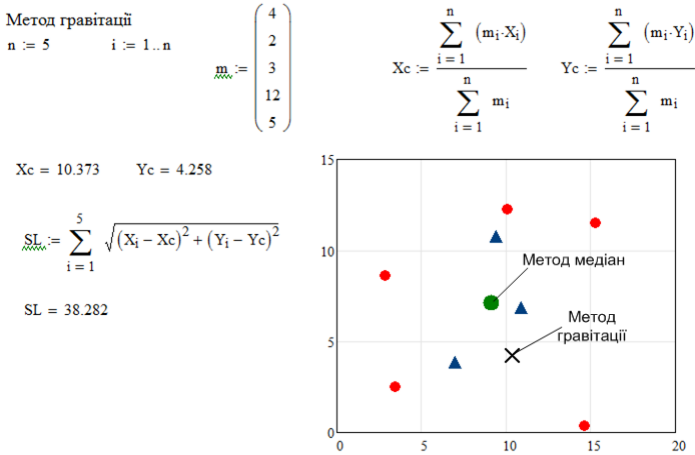


Рис. 3 – Лістинг програми за методом гравітації

Додатковими умовами нашої моделі є введення в модель поряд з можливою кількістю, технічну характеристику машин в групах, що змінює задачу на ймовірнісну, якою і є задача відновлення працездатності машин. Таким ймовірнісним елементом нами прийнято коефіцієнт технічної готовності K_r . Цей коефіцієнт визначається для кожної групи машин, які будуть обслуговуватися МЗ. Тоді модель буде мати вигляд:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N}{K_r} \right) \cdot \sqrt{[(X_i - x_c)^2 + (Y_i - y_c)^2]} - R \max \rightarrow \min . \quad (3)$$

При цьому задача має наступні граничні обмеження: $x_c; y_c \geq 0$; відстань від МЗ $x_c; y_c \leq R_{\max}$ (максимально допустимого кордону). Пошук оптимального місцеположення МЗ показано на рис. 4. Створюємо табличний масив даних з початковими даними рис. 4,а (координати x_i ; y_i – вагові коефіцієнти; N – кількість машин; K_r –

коефіцієнт технічної готовності за групами машин). На рис. 4, показано корекцію обмежень та вибір методу вирішення нелінійної оптимізаційної задачі. Розв'язком даної задачі є місцяперебування МЗ з координатами {12.22; 3.69} (рис. 5).

№	Населений пункт	Кількість техніки М	Кг	Xj	Yj	Цільова функція	в км	Різниця
1	Бригада №1	4	0,75	2,85	8,6	24,42	122,09	121,99
2	Бригада №2	2	0,85	10,05	12,5	13,91	69,56	69,46
3	Бригада №3	3	0,8	15,25	11,5	16,22	81,10	81,00
4	Ланка вирубки	12	0,9	14,6	0,4	14,85	74,23	74,13
5	Ланка лісовідновлення	5	0,8	3,45	2,5	22,12	110,58	110,48
	Центр			12,22	3,69	67,03	1677,33	
						Радіус	Межа Rmax	
						0,1	1,9	

а) Параметри пошуку рішення

Оптимізувати швидку функцію: \$G\$

Діа: Максимум Мінімум Значення: 0

Цільова функція переписана: \$G\$

В відповідності з обмеженнями:

\$f(x) = G\$

\$f(x) - G \ge 0\$

\$f(x) - G \le 0\$

Сувальні параметри без обмежень неградуальності

Вибір методу рішення: **Поиск решения нелинейных задач методом ОУГ**

Метод решения

Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОУГ; для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Найти решение Задать

б)

Рис. 4 – Лістинг оптимізації пошуку місцяперебування МЗ

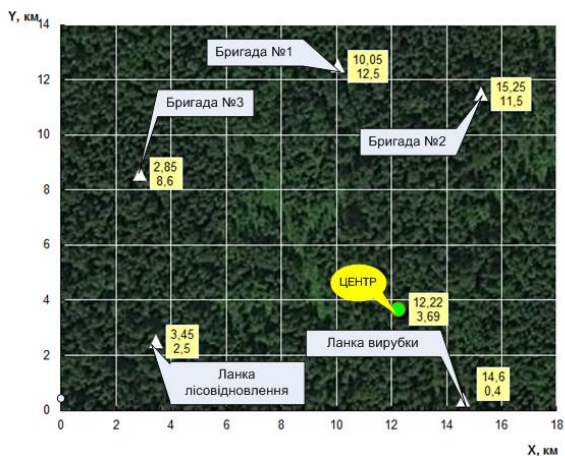


Рис. 5 – Результат оптимізації розміщення градієнтним методом

Важливо те, що змінюючи будь-який із показників даної імітаційної моделі, відразу отримуємо відкориговані координати місцяперебування МЗ, адекватні фізичній моделі. Отже, зміна коефіцієнту готовності для ланки вирубки з 0,9 до 0,6 призводить до зміни координат {13,69; 1,61}, що є логічним, адже зниження коефіцієнту готовності цієї групи підвищує ризик (частоту) відмов, а значить місцяперебування МЗ має бути наближений до цієї групи.

Обґрунтованість побудованих імітаційних моделей полягає у можливості врахування зовнішніх умов шляхом врахування відповідних обмежень на шукані невідомі, а розроблений ряд модифікацій може слугувати основою прийняття оптимальних рішень.

Висновки. Розглянутими в статті методами не обмежується широкий спектр моделей розміщення. Можливі й інші підходи і схеми. Приведені ж методи свідчать про можливість математичного опису і оптимізації проблеми розміщення. Жоден з розглянутих методів не є універсальним, який відповідає усім вимогам. Однак градієнтний метод має більше можливостей і більш адаптований до реальної фізичної моделі обґрунтування місцяперебування МЗ. Подальші дослідження можуть бути направлені на доповнення цього методу, шляхом врахування інших факторів, зокрема врахування терміну на який розміщується МЗ: місяць, сезон чи рік. Особливу увагу необхідно приділити розробці алгоритму і рекомендацій лісопромислового виробництва, якими може скористатися кожен замовник.

Література

1. Джонсон Д. Современная логистика / Д. Джонсон, Д. Вуд. – М.: Вильямс, 2015. – 624 с.
2. Роговський І.Л. Моніторинг техніки – джерело інноваційної політики в АПК України в межах правового регулювання / І.Л. Роговський, В.Н. Большаков // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 3. – С. 334–338.
3. Роговский Иван Эффективность технической эксплуатации лесных МЭС / Иван Роговский, Людмила Титова// Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – 2014. – Том 16, №3. – Р. 313–321.
4. 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.

5. Тітова Л.Л. Відновлення працездатності складальних одиниць машин для лісотехнічних робіт / Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка“. – Харків: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 160. – С. 189–195.

6. 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.

Рецензент д.т.н., проф. В.П. Ковбаса