

А.В. Гриньків, ст. викл., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: avgrinkiv@gmail.com

Можливості логістичних моделей вибору комплексу технічних впливів на забезпечення працездатності транспортних машин

В роботі на основі логістичного підходу, теорії нечітких множин і нечітких відносин між їх елементами розглянуто можливості логістичних моделей вибору комплексу технічних впливів на забезпечення працездатності транспортних машин. Якість забезпечення працездатності машин пов'язується з варіантом стратегій їх технічного обслуговування і ремонту. Проаналізовано п'ять логістичних моделей на шести варіантах забезпечення працездатності машин: модель максимального згортання, модель абсолютного рішення, модель основного параметра (фактора), модель компромісного рішення, модель еталонного порівняння.

Для кожної з моделей проведена формалізація поставленої задачі і розроблено покроковий алгоритм рішення, визначено переваги і недоліки, проведено порівняльний аналіз. Виявлено, що якість оптимізації поставленої задачі залежить від обсягів інформації і підходу, який реалізовано в конкретній логістичній моделі. Визначено, що при наявності достатньо повної інформації про досліджувані процеси можливо рекомендувати до реалізації на практиці логістичну модель еталонного порівняння як ефективну і більш оптимальну.

працездатність, транспортні машини, технічні вплив, логістичні моделі, нечіткі множини, оптимізація

Постановка проблеми. Розроблення і прийняття рішень по використанню концепції системного аналізу, як правило, здійснюється вибором оптимальної альтернативи серед безлічі допустимих засобів досягнення поставленої мети. Суб'єктивно такий підхід сприймається саме як мета, тобто мета полягає в оптимізації системи по одному або декілька із заданих критеріїв. При розгляді реальних складних систем технічного сервісу, як системи забезпечення працездатності транспортних машин (ТМ) певною стратегією технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р). Як правило, при цьому з'являється декілька цілей, причому вони можуть мати суперечливий характер [1].

Оптимізація функціонування систем технічного сервісу неможлива визначенням однієї мети або встановленням жорсткої ієрархії цілей. Це пояснюється тим, що для різних рівнів виконання завдання встановлюються свої критерії: для споживача послуг технічного сервісу – мінімум витрат для прийняттого рівня працездатності ТМ; для сервісного підприємства – мінімальна собівартість послуг, що надаються; для районного та обласного рівнів – забезпечення функціонування сільськогосподарського та іншого виробництва з належним рівнем механізації основних процесів і т.д [2].

Для вибору і обґрунтування системи забезпечення працездатності ТМ доцільним і ефективним є логістичні принципи і методи. Замість жорсткої детермінованої моделі використовується модель, спрямована на пошук компромісу між різними цілями знаходження рішень, які в тій чи іншій мірі задовольняють всім висунутим критеріям.

Такий підхід необхідний тоді, коли відчувається дефіцит інформації для лінійного ранжирування рішень і можливим залишається тільки групове ранжування. Однак слід відзначити, що при використанні компромісного підходу вибір найкращого варіанту можливий тільки в тих випадках, коли використовуються коректні логістичні моделі та алгоритми вибору [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема управління станом ТМ під час технічних дій тісно пов'язана із сучасною проблемою обробки великою за обсягом базою даних (інформації про стан) [1], то зростання складності управлінських ситуацій і систем управління вимагає застосування радикальних наукових рішень. Одними з таких варіантів рішення є логістичний підхід [3] та розподілене інтелектуальне мережеве управління, засноване на застосуванні кіберфізичного підходу при створенні, функціонуванні та удосконаленні логістичних транспортно-виробничих систем [4].

В системі технічного сервісу використовують інтелектуальне внутрішньомережеве моделювання [5-7].

Формування кіберфізичного та логістичного підходів дослідження технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту доцільним є при використанні методів теорії чутливості [8], особливо це стосується використання критеріїв статистичної інформативної та відносної чутливості [9,10], а також еволюційні обчислювання їх життєвого циклу на основі генетичних алгоритмів [11-14]. При цьому корисним є застосування теоретико-методологічних основ побудови логістичних транспортних і виробничих систем [15-17] та їх моделей. В системі технічного сервісу машин [18] увагу слід зосередити на розробці моделей стратегії технічного обслуговування та ремонту, які є найбільш ефективними з економічної точки зору [2]. Актуальними залишаються методи формування системи технологічного забезпечення працездатного стану ТМ на основі кіберфізичного підходу [19] та концептуального дослідження логістичних транспортних і виробничих систем [9]. Це передусім стосується логістичних підприємств агропромислового виробництва [10, 20]. Підвищується ефективність функціонування логістичних систем технічного сервісу при реалізації фізико-інформаційного підходу [21], автоматизації і інформатизації ТМ на основі розподільної системи управління мехатронними модулями [13].

Можлива організація логістичних центрів в Україні [22] на основі структурно-функціональних резервних схем процесу доставки із забезпеченням ефективності їх функціонування [23]. Кіберфізичний та логістичний підходи передбачають самоорганізацію транспортно-виробничих систем, в т.ч. систем технічного сервісу ТМ [24] та дослідження їх стану [25]. Слід також зазначити, що при моделюванні систем технічного сервісу використовуються результати впровадження кіберфізичних технологій та розроблення нової системи організації та управління логістичними потоками [26-30].

Постановка завдання. Метою даної роботи є виявлення можливостей логістичних моделей вибору комплексу технічних впливів на забезпечення працездатності транспортних машин.

Виклад основного матеріалу. Обґрунтуємо використання логістичного підходу до вибору підсистеми забезпечення працездатності ТМ при наявності декількох критеріїв на основі нечітких множин.

Постановку задачі представимо через множину можливих варіантів V організації ТО і Р ТМ з метою забезпечення їх працездатності:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n\} \quad (1)$$

Кожен варіант характеризується певною сукупністю параметрів оцінки якості Q :

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_m\} \quad (2)$$

Між кожним членом множини V і кожним членом множини Q існують нечіткі відносини v_q або τ_{ij} . Відносини τ_{ij} відображають рівень відповідності i -го варіанта системи технічного сервісу вимогам до забезпечення працездатності ТМ за j -м параметром:

$$\tau_{ij} \in [0,1], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Після об'єднання всіх нечітких відносин v_q між v_i і q_j отримуємо матрицю нечітких відносин T розміром $n \times m$:

$$T = \{\tau_{ij} | i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}\}, \quad (4)$$

з якої потрібно вибрати кращий варіант v_{opt} з множини V .

Математичну постановку задачі вибору системи забезпечення працездатності ТМ (технічного сервісу) представимо у вигляді:

$$v_{opt} = opt(V, Q, T, M), \quad (5)$$

де M – використовувана модель вирішення задачі.

Для вирішення завдання вибору оптимальної і ефективної системи ТО і Р ТМ розглянемо шість варіантів стратегій ТО і Р ТМ в експлуатації: $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$. Визначено три фактори виконання якості операцій:

q_1 – дотримання періодичності ТО і нормативного часу простою та ремонту;

q_2 – вартість технологічних процесів;

q_3 – забезпечення величини ресурсу обслуговуваних машин не менше призначеної заводом-виробником.

Результати оцінки кожного варіанта стратегій ТО і Р за вказаними факторами виконання якості операцій наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка рівня варіанту стратегій ТО і Р ТМ за факторами якості виконання операцій

Варіанти стратегій ТО і Р ТМ	Оцінювання варіантів за факторами якості виконання операцій		
	Дотримання періодичності виконання ТО та нормативного часу простою та ремонту, q_1	Вартість виконання технологічних процесів ТМ, q_2	Забезпечення величини ресурсу обслуговуваних ТМ не менш призначеної заводом-виробником, q_3
v_1	0,45	0,85	0,50
v_2	0,80	0,65	0,80
v_3	0,65	0,60	0,75
v_4	0,75	0,75	0,50
v_5	0,50	0,80	0,75
v_6	0,85	0,90	0,85

Джерело: розроблено автором

Зазначимо, що в залежності від логістичної моделі вибору комплексу технічних впливів на забезпечення працездатності ТМ, результати вирішення поставленого завдання можуть бути різними на одній і тій самій вихідній базі даних.

Крім цього найбільш часто зустрічаються ситуації, в яких потрібно розробляти і приймати управлінські рішення щодо вибору стратегії ТО і Р та комплексу технічних впливів. Кожній ситуації можливо поставити у відповідність певні логістичні моделі

рішення задачі:

- відсутність інформації по обмеженню на значень факторів працездатності ТМ і інформації про рівень їх важливості;
- наявна можливість вибору варіанту, що забезпечує значення всіх факторів працездатності ТМ не гірше необхідних;
- вказані обмеження за деякими основними факторами працездатності ТМ;
- наявна можливість ранжирування факторів працездатності ТМ за рівнем їх важливості і визначення частки впливу кожного фактору на спільне рішення;
- наявна можливість забезпечення значень факторів та їх ранжування.

Вирішення поставленого завдання здійснюється на основі логістичних моделей: максимінного згортання, абсолютного рішення, основного параметра (фактора), компромісного рішення, еталонного порівняння.

Сутність моделі максимінного згортання полягає в тому, що оптимальним вважається варіант, який має мінімальні недоліки за всіма факторами. Математична побудова моделі заснована на операції перетину нечітких множин:

$$C_q = q_1 \cap q_2 \cap \dots \cap q_j \cap \dots \cap q_m, \quad (6)$$

де C_q – кінцева оцінка якості варіанту з певною операцією перетину часткових факторів q_j , $j = \overline{1, m}$.

Технологічно операція перетину нечітких множин реалізується різними способами. Найчастіше цій операції відповідає взяття мінімуму:

$$\tau_{C_q}(v_i) = \min \tau_j, j = \overline{1, m}. \quad (7)$$

При цьому формалізована задача (5) набуває вигляду:

$$v_{opt} = \{v_i | v_i \in V; \tau_{C_q}(v_i) = \max \tau_{C_q}(v_i), i = \overline{1, n}\}. \quad (8)$$

Задачу (5) у формалізованому вигляді (8) вирішують за допомогою покрокового алгоритму логістичної моделі максимінного згортання:

1. Обрати варіанти v_i та для кожного з них за формулою (7) знайти значення кінцевого оцінювання якості $\tau_{C_q}(v_i)$.

2. Визначити максимальне значення кінцевого оцінювання якості: $\tau_{C_q}(v_i) = \max \tau_{C_q}(v_i), i = \overline{1, n}$.

Кінцеві оцінки якості варіантів стратегій ТО і Р за логістичною моделлю максимінного згортання становить:

$$\begin{aligned} \tau_{L_q}(v_1) &= \min\{\tau_{1j}; j = 1,2,3\} = \min(0,45;0,85;0,50) = 0,45; \\ \tau_{L_q}(v_2) &= \min\{\tau_{2j}; j = 1,2,3\} = \min(0,80;0,65;0,80) = 0,65; \\ \tau_{L_q}(v_3) &= \min\{\tau_{3j}; j = 1,2,3\} = \min(0,65;0,60;0,75) = 0,60; \\ \tau_{L_q}(v_4) &= \min\{\tau_{4j}; j = 1,2,3\} = \min(0,75;0,75;0,55) = 0,55; \\ \tau_{L_q}(v_5) &= \min\{\tau_{5j}; j = 1,2,3\} = \min(0,50;0,70;0,75) = 0,50; \\ \tau_{L_q}(v_6) &= \min\{\tau_{6j}; j = 1,2,3\} = \min(0,85;0,90;0,85) = 0,85; \end{aligned}$$

Максимальне значення кінцевої оцінки якості варіантів дорівнює:

$$\tau_{L_q}^{\max} = \max\{0,45;0,65;0,60;0,55;0,50;0,85\} = \tau_{L_q}(v_6) = 0,85.$$

Таким чином, остаточною результатом розв'язання задачі є останній, шостий, варіант τ .

Дослідження свідчить, що для використання логістичної моделі максимінного згортання потрібен мінімальний обсяг вхідної інформації, а алгоритм її вирішення

достатньо простий. Крім цього слід зазначити, що використання цієї моделі завжди дає рішення. Разом з тим слід враховувати, що варіант, який має високі оцінки по ряду факторів і низьку оцінку, хоча б тільки по одному факторів, оцінюється, в кінцевому підсумку, як варіант з низьким рівнем якості, тобто модель є реалізацією песимістичного підходу і може ігнорувати хороші оцінки варіантів забезпечення працездатності ТМ.

При використанні логістичної моделі абсолютного рішення необхідно задати мінімально допустимі значення факторів якості q_j . При цьому математична побудова завдання у формалізованій формі матиме такий вигляд:

$$v_{opt} = \{v_1 | v_1 \in V; \tau_{ij} \geq \tau_j^{\min} \forall j = \overline{1, m}\}. \quad (9)$$

Алгоритм рішення задачі (9) за логістичною моделлю абсолютного рішення можливо представити наступним чином:

1. Встановити мінімальне допустиме значення τ_j^{\min} для фактору q_j $\tau_j^{\min} \in [0, 1], j = \overline{1, m}$.
 2. Розглянути варіанти v_i множини V , починаючи з першого варіанта v_1 .
 3. Перевірити умову $\tau_{ij} \geq \tau_j^{\min}$, починаючи з $j=1$. Якщо умова виконується, то переходимо до п.4, якщо ні до п.6.
 4. Визначити, чи всі параметри перевірені для варіанта v_i . Якщо $j < m$, то повторити п.3 для наступного параметра ($j=j+1$), інакше (всі параметри перевірені) переходимо до п.5.
 5. Включити варіант v_i в множину V .
 6. Визначити, чи всі параметри перевірені. Якщо $j < n$, то повторити п.2 для наступного параметра ($i=i+1$) інакше (всі параметри перевірені) переходимо до п.7.
 7. Перевірити на порожність множини V_{opt} . Якщо $V_{opt} = \emptyset$, тобто жоден варіант не відповідає всім обмеженням, то перейти до п.8, інакше перейти до п.9.
 8. Для виходу з положення використати два способи:
 - пом'якшуємо обмеження на один або кілька факторів працездатності ТМ і повернутися до п.2 для перегляду варіантів;
 - розширити множину V , тобто знайти нові варіанти: $v_{opt i} \in V$, та повернутися до п.2 для розгляду нових варіантів $v_{opt i}$.
 9. Якщо множина V містить тільки один варіант v_{opt} , то рішення задачі закінчується, в іншому випадку (є кілька варіантів) використати наступні шляхи:
 - вибирати один з оптимальних варіантів $v_{opt i}$ множини V і закінчити рішення задачі;
 - посилити обмеження на один або кілька факторів працездатності ТМ і повернутися до п.2 для перегляду варіантів, що входять в множину V , при цьому у п.3 перевірку провести тільки для тих факторів, у яких посилені обмеження.
- Використовуючи дані табл.1 для рішення завдання по логістичній моделі абсолютного рішення, встановлено наступні мінімальні допустимі значення факторів:

$$\tau_1^{\min} = 0,50; \quad \tau_2^{\min} = 0,65; \quad \tau_3^{\min} = 0,60.$$

Наведемо результат при перевірці варіантів за формулою (9):

- варіант v_1 (0,45; 0,85; 0,50) – не відповідає вимогам за факторами q_1 і q_3 ;
- варіант v_3 {0,65; 0,60; 0,75} – не відповідає вимогам по фактору q_2 ;
- варіант v_4 (0,75; 0,75; 0,55) – не відповідає вимогам по фактору q_3 . Всі ці три

варіанти видаляються з множини.

Результатом рішення є $v_{opt} = \{v_2, v_5, v_6\} = \{(0,80; 0,65; 0,80), (0,50; 0,70; 0,75), (0,85; 0,90, 0,75)\}$.

За фактором q_1 варіанти v_5 і v_6 мають однакові значення. Однак жоден з цих варіантів не може бути оцінений як більш кращий.

Ця логістична модель має основний недолік: не враховуються рівні важливості (вага) факторів. Можливий випадок, коли варіант буде задовольняти обмеженням по вагомим факторам, але не включається у множину V через те, що не виконується обмеження по менш вагомому фактору.

Формалізація завдань(5) за логістичною моделлю основного параметру(фактору) має наступний вигляд:

$$\begin{cases} V_{opt\ 0} = \{v_i | v_i \in V, i = \overline{1, n}\} \\ V_{opt\ j} = \{v_i | v_i \in V_{j-1}; \tau_{1j} \geq \tau_j^{\min}\} \\ j = \overline{1, m}. \end{cases} \quad (10)$$

Рішення завдання (10) через реалізацію логістичної моделі основного параметру (фактору) виконується за алгоритмом. У кожному пункті вибирають основний параметр, і пошук оптимального рішення ведеться тільки за основним параметром (фактором). Результат пункту (множина рішень) приймають за множину можливих рішень наступного пункту.

Після m кроку, якщо множина рішень $V_{opt\ m}$ має кілька варіантів, здійснити одну з двох дій:

– вибирати один з варіантів множини можливих рішень і закінчити рішення задачі (10);

– повернутися до п.1, при цьому початкову множину можливих рішень визначити наступним чином: $V_{opt\ 0} = V_{opt\ m}$ та посилити обмеження на значення факторів. Рішення необхідно проводити до того моменту, коли в шуканій множині рішень залишиться тільки один варіант.

Алгоритм рішення задачі (10) складається з пунктів:

0. (Підготовчий пункт) фактори множини Q сортувати по рівню їх важливості. При цьому відповідно змінити порядкові номери факторів, тобто перший фактор q_1 – самий важливий, q_2 – трохи менш важливий і т.д.

1. Оптимізувати множину $V_{opt\ 0}$ по основному фактору. На даному етапі самим важливим фактором є перший фактор, тобто q_1 . Встановити мінімальне допустиме значення по основному фактору τ_1^{\min} . Пошук оптимального рішення виконати за формулою : $V_{opt\ 1} = \{v_i | v_i \in V_{opt\ 0}; \tau_{1j} \geq \tau_1^{\min}\}$.

2. Оптимізувати множину $V_{opt\ 1}$ за наступним основним фактором q_2 . Аналогічно п.1 встановити τ_2^{\min} та визначити множину $v_{opt\ 2}$.

3. Оптимізувати множину $V_{opt\ 2}$ по основному фактору q_3 .

... ..

$m-1$. Оптимізувати множину $V_{opt\ m-2}$ по основному фактору q_{m-1} .

m . Оптимізувати множину $V_{opt\ m-1}$ за основним фактором q_m .

На кожному j -му пункті ($j = \overline{1, m}$) можливі наступні варіанти:

– знайдено варіант, що задовольняє вимогам за всіма факторами. Рішення завдання закінчують на даному етапі;

– множина рішень не порожня ($V_{opt\ j} \neq \emptyset$) і не всі фактори розглянуті ($j < m$).

Перейти до наступного пункту ($j=j+1$);

– множина рішень порожня ($V_{opt\ j} = \emptyset$). При цьому або зм'якшити обмеження на даному етапі і повторюють перевірку, або повертаються до попереднього пункту ($j=j-1$) з пом'якшенням його обмеження.

Рішення завдання (10) логістичною моделлю основного параметра (фактора) здійснюється з використанням таблиці 1.

Мінімальні допустимі значення при цьому встановлюємо такими ж, як у попередній моделі. Крім цього, зазначимо, що найважливішим фактором є забезпечення величини ресурсу обслуговуваних ТМ q_3 , наступний фактор за рівнем важливості – вартість виконання технологічних процесів ТО і Р ТМ q_2 . Фактор q_1 – дотримання періодичності виконання ТО і нормативного часу простою в ТО і Р має найнижчий рівень важливості. Здійснимо оптимізацію по цим факторам q_1, q_2, q_3 :

1. Оптимізація по параметру q_1 : варіант v_1 виключаємо з множини рішень $\tau_{11} = 0,45 < \tau_1^{\min} = 0,50$, тобто результатом є: $V_{opt\ 1} = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$.

2. Оптимізація по параметру q_2 : варіант v_3 виключаємо з множини рішень $\tau_{32} = 0,60 < \tau_2^{\min} = 0,65$, тобто результатом є: $V_{opt\ 2} = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_6\}$.

3. Оптимізація по параметру q_3 : варіант v_4 виключаємо з множини рішень $\tau_{43} = 0,50 < \tau_3^{\min} = 0,60$, тобто результатом є: $V_{opt\ 3} = \{v_1, v_2, v_3, v_5, v_6\}$.

Дана ситуація аналогічна попередній, де застосовується модель абсолютного рішення. Важко віддати перевагу одному з варіантів v_2, v_5, v_6 .

Не дивлячись на те, що в модель включено апарат, що враховує рівень важливості факторів, модель не дає хорошого рішення у випадках, коли кінцева множина рішень $V_{opt\ m}$ містить кілька варіантів. Це пов'язано з тим, що при цьому жоден з них не може бути оцінений як кращий.

Основними перевагами даної моделі є врахування рівня важливості факторів і можливість коригування обмежень на значення факторів безпосередньо, що призводить до прискорення процесу вирішення задачі.

Якщо частинні критерії часто суперечливі і можливості одночасного задоволення їх вимог, як правило, обмежені, то при прийнятті рішень необхідно із залученням моделі компромісного рішення. При цьому слід орієнтувати на використання компромісного або інтегрального фактора, одержуваного в результаті згортання часткових факторів.

Заданою рівнями важливості факторів множини Q у вигляді вектора:

$$L = (l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_m) \quad (11)$$

де l_j – рівень важливості фактора q_j ; l_j приймає значення від нуля (фактор не має впливу на вибір) до одиниці. Фактор здійснює максимальний вплив на вибір рішення v_i .

Після встановлення значень рівня важливості фактору q_j , здійснюють їх нормалізацію:

$$\tilde{l}_j = l_j / \sum_{l=1}^m l_l \quad (12)$$

Інтегральний параметр якості варіантів v_i позначимо через функцію F :

$$F_2 = (f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n), \quad (13)$$

де F_2 – значення інтегрального параметра якості для варіанта v_i .

Функцію F визначимо за такою залежністю:

$$F = L \cdot T,$$

або

$$(f_1, \dots, f_i, \dots, f_n) = \begin{pmatrix} \tau_{11} & \dots & \tau_{1m} \\ \dots & \tau_{ij} & \dots \\ \tau_{n1} & \dots & \tau_{nm} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} l_1 \\ \dots \\ l_m \end{pmatrix},$$

тобто

$$f_i = \sum_{j=1}^m (\tau_{ij} \cdot l_j). \quad (14)$$

Враховуючи зазначене вище завдання (5) при застосування логістичної моделі компромісного рішення перетвориться в наступну форму:

$$v_{opt} = \left\{ v_i \mid v_i \in V; f_i = \max \{ f_i \mid f_i \in F; i = \overline{1, n} \} \right\} \quad (15)$$

Логістичний алгоритм вирішення задачі (15) полягає в наступному.

1. Встановити рівні важливості параметрів l_j , $j = \overline{1, m}$.
2. Нормалізувати значення рівня важливості l_j за формулою (12).
3. Обчислити для кожного варіанту значення v_i інтегрального параметра f_i , $i = \overline{1, n}$ за формулою (14).
4. Визначити максимальне значення інтегрального параметра $f_i = \max \{ f_i \mid f_i \in F; i = \overline{1, n} \}$.

Варіант V_l – це рішення задачі (15).

Дана логістична модель не тільки враховує рівень важливості параметрів, але і частку впливу кожного параметра на якість спільного рішення, що усуває недоліки моделі рішення за основним фактором. Крім цього, модель завжди забезпечує наявність рішення задачі.

Рішення задачі за моделлю компромісного варіанту здійснимо з використанням даних таблиці 1.

Рівні важливості трьох факторів q_1 , q_2 , q_3 візьмемо з рішення задачі за попередньою моделлю. Після нормалізації вектор L має наступний вигляд:

$$L = (0,55; 0,35; 0,25)^T.$$

Вирахуємо значення інтегрального параметру, якості варіантів ТО і Р:

$$F = \begin{pmatrix} 0,45 & 0,85 & 0,50 \\ 0,80 & 0,65 & 0,80 \\ 0,65 & 0,60 & 0,75 \\ 0,75 & 0,75 & 0,50 \\ 0,50 & 0,80 & 0,75 \\ 0,85 & 0,90 & 0,85 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,55 \\ 0,35 \\ 0,25 \end{pmatrix},$$

або

$$F = \{0,683; 0,867; 0,755; 0,800; 0,792; 0,995\}.$$

$$f_{\max} = f_6 = 0,995.$$

Варіанта v_6 є оптимальним рішенням задачі за логістичною моделі компромісного варіанту.

Недоліком моделі є те, що високе значення інтегрального фактора f_i не гарантує

знаходження варіанту, що повністю відповідає всім висунутим вимогам. Низьке значення одного фактора (нижче, ніж потрібно при використанні моделі абсолютного рішення) може бути компенсовано високим значенням іншого значущого фактора, тобто не завжди досягається адекватність оцінки варіантів рішень.

Модель, що дозволяє усунути недоліки розглянутих вище моделей є модель еталонного порівняння. Її сутність полягає в побудові еталонного варіанту підсистеми обслуговування і ремонту ТМ. Фактори цього варіанту приймають мінімальні допустимі значення τ_0 ; $j = \overline{1, m}$. Кожен варіант v_i множини V порівнюємо з еталоном v_e . Якщо якості у варіанту v_j не гірше, ніж у еталону v_e за всіма параметрами, то варіант v_i , включаємо в множину рішень і для нього розраховуємо інтегральний параметр якості f_i . Для еталонного варіанту інтегральний параметр приймає нульове значення $f_e = 0$. Оптимальним буде рішення з максимальним значенням інтегрального параметра f_{max} .

Математична форма запису за логістичною моделлю виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} v_{opt\ i} &= \{v_i | v_i \in V; \tau_{ij} \geq \tau_{0j}, \forall j = \overline{1, m}\} \\ \tilde{f}_i &= \max\{f_i | f_i \in F; i = \overline{1, n}\} \end{aligned} \quad (16)$$

де

$$f_i = \sum_{j=1}^m (\tau_{ij} - \tau_{0j}) \cdot l_j. \quad (17)$$

Логістичний алгоритм вирішення задачі (16) полягає в наступному:

1. Формувати еталонний варіант v_e , тобто встановити мінімальні допустимі значення τ_{0j} для параметрів q_j , $j = \overline{1, m}$.

2. Встановити рівень важливості параметрів l_j , $j = \overline{1, m}$.

3. Нормалізувати значення l_j за формулою (12).

4. Порівняти варіант v_i множини V з еталонним варіантом v_e , починаючи з першого варіанту v_i ($i=1$). При цьому перевіряємо умову $\tau_{ij} \geq \tau_{0j}$, $j = \overline{1, m}$. Якщо виконуються не всі умови, то перейти до п.6, інакше (всі умови виконані) переходимо до кроку 5

5. Включити варіант v_i в множину V_{opt} та для даного варіанту визначити значення інтегрального параметру якості f_i за формулою (17).

6. Визначити чи всі варіанти перевірені. Якщо $i < n$, то повторити п.4 для наступного варіанту ($i = i + 1$), інакше (всі варіанти перевірені) переходимо до п.7.

7. Перевірити порожність множини V_{opt} . Якщо $V_{opt} = \emptyset$, тобто якості у всіх варіантів множини V гірше, ніж у еталонного варіанта v_e , то перейти до п. 8, інакше перейти до п. 9.

8. Проаналізувати два способи виходу з положення: зм'якшуємо обмеження на один або кілька факторів шляхом перебудови еталонного варіанту v_e і повернутися до п.4 для перегляду варіантів; 2) розширити множину V , тобто знаходимо нові варіанти $V_{opt\ i} \in V$, і повернутися до п.4 для розгляду нових варіантів $V_{opt\ i}$.

9. Визначити максимальне значення інтегрального параметру $\tilde{f}_i = \max\{f_i | f_i \in F; i = \overline{1, n}\}$. Варіант v_i це рішення задачі (16).

При рішенні задачі за моделлю еталонного порівняння використовуємо дані таблиці 1.

Щоб не змінювати умови задачі, приймаємо еталонний варіант $v_e = (0,40; 0,60; 0,55)$ і вектор $L = (0,55; 0,35; 0,25)^T$.

Також як у випадках другої і третьої моделей, варіанти v_1 , v_3 і v_4 виключаємо з

множини рішень. Залишаються три варіанти: v_2 , v_5 і v_6 . Їх інтегральні параметри мають наступні значення:

$$\tilde{f}_2 = (0,80 - 0,40) \cdot 0,55 + (0,65 - 0,60) \cdot 0,35 + (0,80 - 0,55) \cdot 0,25 = 0,3000,$$

$$\tilde{f}_5 = (0,50 - 0,40) \cdot 0,55 + (0,80 - 0,60) \cdot 0,35 + (0,75 - 0,55) \cdot 0,25 = 0,1750,$$

$$\tilde{f}_6 = (0,85 - 0,40) \cdot 0,55 + (0,90 - 0,60) \cdot 0,35 + (0,85 - 0,55) \cdot 0,25 = 0,4275.$$

$$f_{\max} = f_6 = 0,4275.$$

Оптимальний результатом розв'язання задачі є варіант $v_6 = (0,85; 0,90; 0,85)$.

Основним недоліком цієї моделі є те, що для прийняття рішення потрібно значно більше інформації у порівнянні з іншими моделями. Модель еталонного порівняння є поєднанням моделі абсолютного рішення і моделі компромісного рішення. При наявності досить повної інформації про умови і процеси експлуатації ТМ повинна використовуватися саме ця модель. Вона дає рішення, яке більшою мірою відповідає вимогам завдання вибору раціональної системи ТО і Р транспортних машин.

Порівняння результатів рішення задачі вибору стратегії ТО і Р ТМ за логістичними моделями показує, що результати по набору раціональних варіантів відрізняються, незважаючи на те, що вихідні дані у всіх розрахунках не є суперечливими. Чи не повний збіг результатів пояснюється тим, що при вирішенні задачі різними методами використовуються неоднакові обсяги інформації, а також тим, що використовуються різні підходи до прийняття рішень. При наявності достатньо повної інформації про досліджувані процеси може бути рекомендована до застосування модель еталонного порівняння, яка дозволяє отримати рішення, яке більш адекватно відповідає умовам і вимогам завдання.

Висновки.

1. Обґрунтовано забезпеченість працездатності транспортних машин системою їх технічного обслуговування і ремонту на основі логістичного підходу та зроблено відповідну постановку задачі з використанням критеріїв та відносин елементів теорії нечітких множин.

2. Для вирішення завдання вибору оптимальної і ефективної системи технічного сервісу розглянуто шість варіантів стратегій технічного обслуговування і ремонту транспортних машин з використанням логістичних моделей: максимінного згортання, абсолютного рішення, основного параметра (фактору), компромісного рішення (варіанту), еталонного порівняння.

3. Для кожної з логістичних моделей наведені варіанти оптимальних рішень та трансформовано основну задачу у формалізованому вигляді.

4. З'ясовано, що кожну з розглянутих логістичних моделей можливо використовувати на одній і тій множині варіантів стратегій технічного обслуговування та ремонту транспортних машин.

5. Виявлено основні недоліки та переваги логістичних моделей та їх специфіку. Розроблені логістичні алгоритми розв'язання формалізованих задач.

6. Порівнянням результатів за різними варіантами рішення, щодо вибору стратегії технічного обслуговування і ремонту транспортних машин, визначено їх несуперечливість, незважаючи на неоднакові обсяги інформації. Якщо інформація достатньо повна, то для реалізації на практиці найбільш оптимальною є логістична модель еталонного порівняння.

Список літератури

1. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко; під заг. ред. В.В. Ауліна. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
2. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности. / В.В. Аулин та ін. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.
3. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем : монографія / В.В. Аулін та ін.; під заг. ред. В.В. Ауліна. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.
4. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін та ін.; під заг. ред. В. В. Ауліна. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. 428с.
5. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С.331-343.
6. Кіберфізичні системи ж основа інтелектуалізації "Розумних" підприємств. / В.Ю. Мейтус та ін. *Управляющие системы и машины*. 2019. №4. С.14-26.
7. Техничко-економічне обґрунтування переваг інтелектуальної стратегії технічного обслуговування і ремонту легкового автомобіля. / В.В. Аулін, Т.Н. Замота, О.Н. Замота, А.В. Гриньків. *Вісник інж. академії України*. 2017. №4. С.50-56.
8. Аулін В.В., Гриньків А.В. Метод визначення тенденцій зміни технічного стану засобів транспорту з використанням критеріїв статистичної інформативності та відносної чутливості. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, 22-23 лют.* 2018 р., К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. С. 132-135.
9. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Концептуальний підхід дослідження функціонування транспортних систем. *Перспективні напрями розвитку регіональних транспортних та логістичних систем: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 травня 2018 р.* Харків: ХНАДУ, 2018. С.14-17.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж.міжвід.наук.-техн. зб.* 2017. Вип. 47, ч. II. С. 3-10.
11. Аулін В.В., Панков А.А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.116-119.
12. Aulin V.V., Pankov A.A. (2018). Avtomatizatsiya i informatizatsiya transportnyih sredstv na osnove raspredelennoy sistemyi upravleniya s intellektualnyimi mehatronnyimi modulyami [Automation and informatization of vehicles based on a distributed control system with intelligent mechatronic modules]. Innovative technologies for the development and efficiency of road transport: *zbirnyk naukovykh materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii - a collection of scientific materials of the international scientific-practical Internet conference*, TsNTU m.Kropyvnytskyi, Ukraina, 14-15 lystopada 2018 roku. Kropyvnytskyi. S.97-100 [in Russian].
13. Аулін В.В., Панков А.А. Автоматизация и информатизация транспортных средств на основе распределенной системы управления с интеллектуальными мехатронными модулями. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, ЦНТУ м.Кропивницький, Україна, 14-15 листопада 2018 року*. Кропивницький. 2018. С.97-100.
14. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2019): збірник тез Дванадцяті міжнародної науково-практичної конференції, 21-22 травня 2019 року, Київ, Україна*. К.: НАУ, 2019. С.173-175.
15. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Теоретико-методологічні основи побудови транспортно-логістичних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: Матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 12-13 квітня 2018 року*. Вінниця: ВНТУ, 2018. С.9-10.
16. Аулін В.В. Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК. *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.8-11.
17. Аулін В.В., Великодний Д.О., Голуб Д.В., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності управління

- логістичним ланцюгом постачання в транспортній системі. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції*. 21-22 лют. 2019 р., м. Київ: НУБіП, 2019. С. 195-198.
18. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки / Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. та ін. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2020. № 22. С. 162-174.
 19. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортно-технологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 23-25 травня 2018р.* Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2018. С. 15-17.
 20. Aulin V., Velykodnyi D., Dyachenko V. Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph.* Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. P.165-169.
 21. Аулін В.В., Голуб Д.В. Реалізація фізико-інформаційного підходу дослідження проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем. *Вестник ХНАДУ*, 2018. вып. 81. С.21-28.
 22. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyu D., Kalinichenko O, Hrinkiv A., Diychenko V., Dzyura V. Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine.* С.120-134.
 23. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурно-функціональних резервних схем процесу доставки. *Наука – виробництво 2019: зб. тез доповідей викладачів, аспірантів та співробітників Л наукової конференції, 18 квітня 2019 року.* Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.
 24. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Принципи самоорганізації автомобільних транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали VIII-ої міжн. наук.-практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 року: зб. наук. праць / МОН України, ВНТУ [та ін.].* Вінниця: ВНТУ, 2020. С.17-19.
 25. Аулін В.В., Гриньків А.В. Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р.* Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.168-169.
 26. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р.* – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.207.
 27. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О., Кернус Р.О. Необхідність розроблення нової системи організації та управління логістичними потоками. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р.* Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.236-237.
 28. Khaïtan et al. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey, *IEEE Systems Journal*, 2014, 9(2), pp.1-16.
 29. Jianjun S.et al.The analysis of traffic control Cyber-physical systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2013. Т. 96. С. 2487-2496.
 30. Ван Чунжі, Яцишин С. П., Лиса О. В., Мідик А.-В. В. Кіберфізичні системи та їх програмне забезпечення. *Вимірвальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник.* Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2018. Том 79. № 1. С. 34-38.

References

1. Aulin, V.V., Golub, D.V., Grinkiv, A.V. & Lisenko, S.V. (2017). *Metodologichni i teoretichni osnovi zabezpechennya ta pidvishennya nadijnosti funkcionuvannya avtomobilnih transportnih sistem: monografiya [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]*. Kropivnickij: Vidavnictvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
2. Aulin, V.V., Zamota, T.N., Grinkiv, A.V., Zamota, O.M. & Chernay, A.E. (2018). *Preimuschestva intelektualnoy strategii tehnicheskoy ekspluatatsii s tochki zreniya ekonomicheskoy effektivnosti [Advantages of intelligent strategy of technical operation from the point of view of economic efficiency]*.

- Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka - Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Issue. 192, 29-40 [in Russian].*
3. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V., Holovaty, A.O. & Holub, D.V. (2021). *Teoretychni i metodolohichni osnovy lohistyky transportnykh i vyrobnychkykh system [Theoretical and methodological foundations of the logistics of transport and production systems]* Kropyvnytskyi: Vydavets Lysenko V.F. [in Ukrainian].
 4. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovaty, A.O. et al. (2020). *Metodolohichni osnovy proektuvannia ta funktsionuvannia intelektualnykh transportnykh i vyrobnychkykh system [Methodological bases of designing and functioning of intelligent transport and production systems]* Kropyvnytskyi : Lysenko V. F. [in Ukrainian].
 5. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovaty, A.O. (2020). Kiberfizychni pidkhyd pry stvorenni, funktsionuvanni ta udoskonalenni transportno-vyrobnychkykh system [Cyber-physical approach in the creation, functioning and improvement of transport and production systems]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky- Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences, Issue. 3(34), 331-343 [in Ukrainian].*
 6. Meitus, V.Yu., Morozova, H.I, Taran, L.Yu., Kozlova, V.P. & Maidaniuk, N.V. (2019). Kiberfizychni systemy zh osnova intelektualizatsii "Rozumnykh" pidpriemstv [Cyberphysical systems are the basis of intellectualization of "Smart" enterprises]. *Upravliaiushchye systemy y mashyni - Control systems and machines, 4, 14-26 [in Ukrainian].*
 7. Aulin, V.V., Zamota, T.N., Zamota, O.N. & Grinkiv, A.V. (2017). Tehniko-ekonomicheskoe obosnovanie preimuschestva intelektualnoy strategii tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta legkovogo avtomobilya [Feasibility study of the benefits of an intelligent strategy for maintenance and repair of passenger cars]. *Visnyk inzh. akademii Ukrainy - Bulletin of Eng. Academy of Ukraine, 4, 50-56 [in Russian].*
 8. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. (2018). Metod vyznachennia tendentsii zminy tekhnichnogo stanu zasobiv transportu z vykorystanniam kryteriiv statystyčnoi informatyvnosti ta vidnosnoi chutlyvosti [The method of determining trends in the technical condition of vehicles using the criteria of statistical informativeness and relative sensitivity]. *Kramarov readings: zb. tez dopovidei V Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii - collection. abstracts of the V International Scientific and Technical Conference, (22-23 liut. 2018 r.), Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, 132-135 [in Ukrainian].*
 9. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Hrynkiv, A.V. (2018). Kontseptualnyi pidkhyd doslidzhennia funktsionuvannia transportnykh system [Conceptual approach to the study of the functioning of transport systems]. *Perspective directions of development of regional transport and logistics systems: materialy Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference, (22-23 travnia 2018 r). Kharkiv: KhNADU, 14-17 [in Ukrainian].*
 10. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Hrynkiv, A.V. (2017). Udoskonalennia systemy transportnoho obsluhovuvannia pidpriemstv ahropromyslovoho vyrobnytstva [Improving the system of transport services for agro-industrial enterprises]. *Zahalnodержавnyi mizhvidomchyi naukovotekhnichniy zbirnyk. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn - National interdepartmental scientific and technical collection. Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue. 47, part.II, 3-10 [in Ukrainian].*
 11. Aulin, V.V. & Pankov, A.A. (2017). Evolyutsionnoe vyichislenie zhiznennogo tsikla tehničeskikh sredstv na osnove geneticheskikh algoritmov [Evolutionary calculation of the life cycle of technical means based on genetic algorithms]. *Visnyk inzh. akademii Ukrainy - Bulletin of Eng. Academy of Ukraine, 2, 116-119 [in Russian].*
 12. Aulin, V.V., Pankov, A.O, Hrynkiv, A.V., Holub, D.V. & Shcheglov, A.V. (2019). Rozrobka intelektualnogo mekhatronnoho modulia dlia systemy upravlinnia dozuvanniam. *Intehrovani intelektualni robototekhnichni kompleksy (IIRTK-2019): zbirnyk tez Dvanadtsiatoi mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii, (21-22 travnia 2019 roku, Kyiv) . Kyiv: NAU, 173-175 [in Ukrainian].*
 13. Aulin, V.V., Pankov, A.O., Zamota T.M., Lyashuk, O.L., Hrynkiv, A.V., Tykhyi, A.A. et al. (2019). Development of mechatronic module for the seeding control system. *INMATEH – Agricultural Engineering, vol. 59, 3, P. 181-188 [in English].*
 14. Aulin, V.V., Pankov, A.O., Zamota, T.M., Lyashuk, O.L., Hrynkiv, A.V., Tykhyi, A.A. et al. (2019). Development of mechatronic module for the seeding control system. *INMATEH – Agricultural Engineering, vol. 59, no.3, P. 181-188.*
 15. Aulin, V.V., Velykodnyi, D.O. & Diachenko, V.O. (2018). Teoretyko-metodolohichni osnovy pobudovy transportno-lohistychnykh system [Theoretical and methodological foundations of construction of

- transport and logistics systems]. Problems and prospects for the development of road transport: *Materialy VI-oi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii - Proceedings of the VI International Scientific and Practical Internet Conference*, 12-13 kvitnia 2018 roku. Vinnytsia: VNTU, S.9-10 [in Ukrainian].
16. Aulin, V.V., Velykodnyi, D.O. & Diachenko, V.O. (2018). Optymizatsiia i upravlinnia resursamy v transportno-lohistychnii systemi APK [Optimization and management of resources in the transport and logistics system of agro-industrial complex]. *Mizhvuzivskiyi zbirnyk "Naukovi notatky" - Interuniversity collection "Scientific Notes"*, 62, 8-11 [in Ukrainian].
 17. Aulin, V.V., Velykodnyi, D.O., Holub, D.V. & Dchenko, V.O. (2019). Pidvyshchennia efektyvnosti upravlinnia lohistychnym lantsiuhom postachannia v transportnii systemi [Improving the efficiency of logistics supply chain management in the transport system]. *Kramarov readings: zb. tez dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii - collection. abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference*. 21-22 liut. 2019 r., m. Kyiv: NUBiP, S. 195-198 [in Ukrainian].
 18. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V. et al. (2020). Pryntsypy pobudovy ta funktsionuvannia kiberfizychnoi systemy tekhnichnogo servisu avtotransportnoi ta mobilnoi silskohospodarskoï tekhniky [Principles of construction and functioning of cyberphysical system of technical service of motor transport and mobile agricultural machinery]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnogo kompleksiv – Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes*, 22, 162-174 [in Russian].
 19. Aulin, V.V. & Velykodnyi, D.O. (2018). Metody formuvannia cystemy transportno-tekhnologichnogo zabezpechennia v APK [Methods of formation of the system of transport and technological support in the agro-industrial complex]. *Transport and logistics: problems and solutions: zbirnyk naukovykh prats za materialamy VIII-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - a collection of scientific papers on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*, 23-25 travnia 2018r. Odesa: KUPRIENKO SV, S. 15-17 [in Ukrainian].
 20. Aulin, V., Velykodnyi, D. & Dyachenko, V. (2018). Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education*. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, P.165-169 [in English].
 21. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2018). Realizatsiia fizyko-informatsiinoho pidkhodu doslidzhennia problemy pidvyshchennia nadiinosti ta efektyvnosti funktsionuvannia transportnykh system [Implementation of the physical and information approach to the study of the problem of improving the reliability and efficiency of transport systems]. *Vestnik HNADU - Bulletin of KhNADU*, vyip. 81. S.21-28 [in Ukrainian].
 22. Aulin, V., Pavlenko, O., Velikodnyy, D., Kalinichenko, O., Hrinkiv, A., Diychenko, V. & Dzyura V. (2019). Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. C.120-134 [in English].
 23. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2019). Zabezpechennia efektyvnosti funktsionuvannia transportnykh system shliakhom pidvyshchennia nadiinosti strukturno-funktsionalnykh rezervnykh skhem protsesu dostavky [Ensuring the efficiency of transport systems by increasing the reliability of structural and functional backup schemes of the delivery process]. *Science - production 2019: zb. tez dopovidei vykladachiv, aspirantiv ta spivrobotnykiv L naukovoï konferentsii - coll. abstracts of reports of teachers, graduate students and staff of the L scientific conference*, 18 kvitnia 2019 roku. Kropyvnytskyi: TsNTU, S. 17-20 [in Ukrainian].
 24. Aulin, V.V., Holub, D.V., Bilichenko, V.V. & Zamurenko, A.S. (2020). Pryntsypy samoorhanizatsii avtomobilnykh transportnykh system [Principles of self-organization of automobile transport systems]. *Problems and prospects for the development of road transport: materialy VIII-oi mizhn. nauk.-praktychnoi internet-konf. - materials of the VIII International scientific-practical Internet conference*, 14-15 kvitnia 2020 roku, VNTU, S.17-19 [in Ukrainian].
 25. Aulin, V.V. & Hrynkiv, A.V. (2020). Kiberfizychnyi pidkhid v doslidzhennia stanu tekhnichnykh system [Cyberphysical approach to the study of technical systems]. *Increase of Machine and Equipment Reliability: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. Kropyvnytskyi: TsNTU, S.168-169 [in Ukrainian].
 26. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovatyi, A.O. (2020). Intelktualni transportni systemy yak rezultat vprovadzhennia innovatsiinykh efektyvnykh tekhnolohii [Intelligent transport systems as a result of the introduction of innovative efficient technologies]. *Increase of Machine and Equipment Reliability: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. – Kropyvnytskyi: TsNTU, S.207[in Ukrainian].
 27. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Holovatyi A.O., Kernus R.O. (2020). Neobkhdnist rozroblennia novoi

- systemy orhanizatsii ta upravlinnia lohistychnymy potokamy [The need to develop a new system of organization and management of logistics flows]. Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. Kropyvnytskyi: TsNTU, S.236-237 [in Ukrainian].
28. Khaitan et al. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey (2014), *IEEE Systems Journal*, 9(2), pp.1-16 [in English].
 29. Jianjun, S.et al. (2013). The analysis of traffic control Cyber-physical systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences. Issue. 96*, 2487-2496 [in English].
 30. Van Chunzhi, Yatsyshyn S.P., Lysa O.V. & Midyk A.-V.V. (2018.) Kiberfizychni systemy ta yikh prohramne zabezpechennia [Cyberphysical systems and their software]. Measuring equipment and metrology: *mizhvidomchy naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – interdepartmental scientific and technical collection, Vol 79, № 1*, 34-38 [in Ukrainian].

Andrey Grinkiv, Senior Researcher, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Possibilities of Logistic Models for Choosing a Complex of Technical Influences on Ensuring the Operational Efficiency of Transport Vehicles

Based on the logistic approach, the theory of fuzzy sets and fuzzy relations between their elements, the paper examines the possibilities of logistic models for choosing a complex of technical influences on ensuring the operational efficiency of transport vehicles. The quality of ensuring the working capacity of machines is connected with the variant of their maintenance and repair strategies. Five logistic models were analyzed based on six options for ensuring machine performance: the model of maximum contraction, the model of the absolute solution, the model of the main parameter (factor), the model of a compromise solution, and the model of reference comparison.

Ensuring the operational efficiency of transport vehicles by the system of their technical maintenance and repair based on the logistic approach is substantiated, and the appropriate statement of the problem is made using the criteria and relations of the elements of the theory of fuzzy sets. It was found that each of the considered logistic models can be used on one and the same set of variants of strategies for maintenance and repair of transport vehicles. By comparing the results of different decision options regarding the choice of a strategy for maintenance and repair of transport vehicles, their consistency was determined, despite the unequal amount of information. If the information is sufficiently complete, then the logistic model of reference comparison is the most optimal for implementation in practice.

For each of the models, the task was formalized and a step-by-step solution algorithm was developed, advantages and disadvantages were determined, and a comparative analysis was carried out. It was found that the quality of optimization of the given task depends on the amount of information and the approach implemented in a specific logistic model. It was determined that if there is sufficiently complete information about the researched processes, it is possible to recommend the logistic model of reference comparison as effective and more optimal for implementation in practice.

performance, transport machines, technical influence, logistic models, fuzzy sets, optimization

Одержано (Received) 06.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 20.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022