

І.В. ГРЕБЕННИК, О.А. КОВАЛЕНКО

ЛОГІКО-АЛГЕБРАЇЧНА МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНВЕЄРА СОРТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПОШТОВИХ ВІДПРАВЛЕНЬ

Для доставки об'єктів поштових відправлень (ОПВ) логістичні компанії використовують мережу проміжних та кінцевих центрів сортування посилок. Для сортування ОПВ центри обладнуються автоматизованими сортувальними конвеєрами. Головним недоліком автоматизованих конвеєрів сортування ОПВ проміжних центрів є обмеження моделей, що використовуються для прийняття рішень. Цей недолік пов'язаний з тим, що сортування ОПВ проводиться без урахування їхньої ваги та габаритів. Це може призвести до неефективного використання об'єму кузова вантажівок при їх завантаженні, а також ризику пошкодження посилок, коли вони розміщуються одна на одній.

Для реалізації управління автоматизованим сортувальним конвеєром із заданою логікою сортування ОПВ розроблено логіко-алгебраїчну модель прийняття рішень. Ця модель дозволяє реалізувати класифікацію ОПВ за діапазонами значень параметрів ваги та габаритів, визначених для кожних завантажувальних дверей терміналів, та провести відповідне сортування. Розроблена модель прийняття рішень може використовуватися в автоматичних сортувальних конвеєрах різного призначення для реалізації сортування вантажів, що транспортуються, відповідно до параметрів їхньої ваги та габаритів.

1. Вступ

Для доставки об'єктів поштових відправлень (ОПВ) логістичні компанії використовують мережу проміжних та кінцевих центрів сортування посилок (PSC – Parcel Sorting Centres), які також називають центральними терміналами консолідації посилок (CPCT – Central Parcel Consolidation Terminals). Проміжні PSC призначені для розвантаження ОПВ, сортування, їх подальшого завантаження та доставки за адресами наступних проміжних центрів, що входять до логістичної мережі. Кінцеві PSC призначені для сортування ОПВ з метою їх доставки до місцевих відділень логістики та видачі адресатам.

Для сортування об'єктів поштових відправлень PSC обладнуються модульними автоматизованими сортувальними конвеєрами (ASC – Automated Sorting Conveyor). Обмеження моделей прийняття рішень цих ASC пов'язане з тим, що сортування проводиться без урахування параметрів ваги та габаритів ОПВ, що може призвести до неефективного використання об'єму кузова вантажівок при їх завантаженні, а також ризику пошкодження посилок, коли вони розміщуються одна на одній. Це обмеження обумовлено відсутністю загальних стандартів, що визначають класифікацію ОПВ за типами та категоріями відповідно до їхніх параметрів ваги та габаритів. Тому в різних логістичних компаніях можуть бути реалізовані різні варіанти подібної класифікації.

Для усунення цього обмеження в [1], [2] пропонуються варіанти удосконалення моделі прийняття рішень ASC, які реалізують заданий порядок сортування ОПВ за завантажувальними дверима терміналів PSC, на основі нечіткої логіки. Як недоліки цих нечітких моделей можна зазначити складність їх реалізації та значні обчислювальні витрати, пов'язані з етапами нечіткого виводу, – це обчислення значень функцій приналежності, додаткові операції визначення істинності умов та їхньої активізації, а також обчислення вихідних чітких параметрів під час дефазифікації.

Зазначені недоліки моделей [1], [2] є критичними, тому що підвищення часу на

обчислення та прийняття рішення може призводити до зниження пропускної здатності ASC. Тому виникає необхідність проведення досліджень з розробки моделі прийняття рішень на основі класичної чіткої логіки, яка потребує здійснення лише операції визначення істинності умов, що значно спрощує її реалізацію.

2. Аналіз літературних джерел, пов'язаних із дослідженнями щодо вдосконалення логістики центрів сортування посилок

Аналіз публікацій за даною тематикою показав, що для вдосконалення логістики PSC проводяться різноманітні дослідження, пов'язані з модернізацією апаратних засобів ASC і розробкою їхніх моделей прийняття рішень.

Для автоматизованої дефініції параметрів ваги та габаритів ОПВ проводяться дослідження з модернізації апаратних засобів управління та контролю роботи ASC за такими напрямками: удосконалення сканерів ярликів QR-коду [3] та швидкості його сканування [4]; удосконалення датчиків механізму зважування транспортованих об'єктів [5]; удосконалення засобів комп'ютерного зору для визначення розмірів об'єктів [6]; удосконалення датчиків наближення для визначення відстаней [7]; удосконалення датчиків пневматичних затворів для реалізації переміщення об'єктів поривами повітря [8] та інших елементів.

Можна також виділити окремі області досліджень, пов'язані з розробкою моделей прийняття рішень ASC.

До першої області досліджень можна віднести розробку моделей прийняття рішень ASC, які дозволяють вирішувати завдання розподілу обсягу ОПВ та мінімізації кількості обслуговуючого персоналу [9], [10].

До другої області досліджень можна віднести розробку моделей прийняття рішень на основі генетичних алгоритмів. У [11] розглядається проблема простою вхідних та вихідних вантажівок у PSC. Ця проблема вирішується за допомогою генетичного алгоритму, що дозволяє контролювати швидкість розвантаження для забезпечення фіксованого графіка завантаження та відправлення вихідних вантажівок, навіть якщо вони не повністю завантажені.

До третьої області досліджень можна віднести розробку моделей розв'язання задач планування прибуття вхідних та вихідних вантажівок, що дозволяють мінімізувати час очікування вантажівок та час сортування ASC. У [12] розглянуто проблему планування вузла посилок (PHSP, Parcel Hub Scheduling Problem) з метою максимізувати пропускну здатність ASC. У [13] розглядається проблема планування роботи PHSP з ярликами (PHSPwS, Parcel Hub Scheduling Problem With Shortcuts). Це завдання аналогічне [12] і відрізняється тим, що для визначення графіка розвантаження вхідних вантажівок використовується інформація ярликів QR-коду ОПВ. У [14] також розглядається проблема PHSPwS, але зворотно по відношенню до [13] – планування графіка навантаження вихідних вантажівок, а також мінімізація маршруту проходження посилок у системі ASC. Слід зазначити, що PSC, які обслуговують вантажівки, можуть розглядатися як підсистеми більших систем транспортної маршрутизації, які здійснюють доставку вантажів автомобільним та залізничним транспортом. Деякі з проблем планування, які існують у таких системах, та методи їх аналізу описані в [15].

До четвертої області досліджень можна віднести розробку моделей прийняття рішень, пов'язаних із завданнями планування компонування обладнання ASC для CPCT [16], які можуть вирішуватись за допомогою методів моделювання та оптимізації [17].

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є розробка логіко-алгебраїчної моделі прийняття рішень ASC, яка вирішує завдання реалізації заданої логіки сортування з урахуванням параметрів ваги та

габаритів ОПВ для збереження їхньої цілісності та забезпечення заданих варіантів компактного завантаження вантажівок.

Для досягнення цієї мети пропонується вирішити такі задачі:

– визначити умови сортування ОПВ та порядок їх завантаження для подальшої доставки;

– розробити логіко-алгебраїчну модель прийняття рішень ASC, яка реалізує задану логіку сортування за визначеними умовами;

– розробити методику практичної реалізації логіко-алгебраїчної моделі прийняття рішень ASC із заданою логікою сортування ОПВ.

4. Визначення умов сортування об'єктів поштового відправлення та порядку їх завантаження

ASC конструктивно складаються з автоматизованих сортувальних ліній (ASL – Automated Sorting Line) різного типу: стрічкових (Modular Belt Sorting Line); вузько стрічкових (Narrow Belt Sorters Line); ліній із поворотними колесами (Swivel Wheel Sorters Line); поперечних (Cross-Belt Sorters Line); телескопічних (Telescopic Belt Conveyors Line) та інших видів автоматизованого обладнання для транспортування [18].

Модель прийняття рішень ASC реалізується як комп'ютеризована система управління сортуванням ОПВ за терміналами відповідно до адрес, що зберігаються в QR-кодах ярликів ОПВ. У зв'язку з тим, що кожен PSC обладнується ASC з індивідуальними конструктивними особливостями, розглянемо схему його побудови в узагальненому вигляді (рис. 1) для двох терміналів «А» та «В», що відповідають двом напрямкам (адресам) наступних проміжних PSC, які входять до логістичної мережі [2]. На схемі ASC (рис. 1) розвантажувальні двері (unloading doors) для вхідних вантажівок (inbound trucks) позначені як «U1», «U2», ..., «UN».

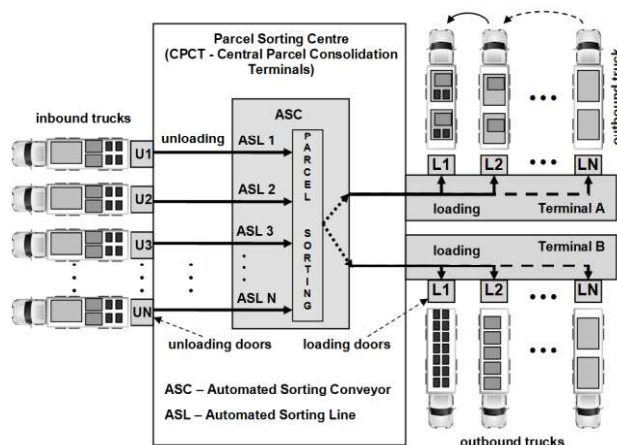


Рис. 1. Схема ASC з прикладом реалізації заданої логіки завантаження об'єктів поштового відправлення

завантажувальних дверей терміналу з певним номером. Після завантаження вантажівки відправляються до пунктів призначення, визначених адресами PSC, пов'язаними з терміналами «А» або «В».

Логіко-алгебраїчна модель прийняття рішень ASC повинна реалізовувати задану логіку сортування, що визначається такими умовами:

– для N завантажувальних дверей «L» терміналів PSC (рис. 1) визначається N діапазонів ваги та габаритів (ширина, висота, глибина) ОПВ, кожен з яких відповідає певним дверям «L1», «L2», ..., «LN»;

– завдання моделі прийняття рішень ASC: провести класифікацію ОПВ за їхніми

Реалізована модель прийняття рішень ASC розподіляє ОПВ за двома напрямками, за які відповідають термінали «А» і «В» із завантажувальними дверима (loading doors), позначеними, як «L1», «L2», ..., «LN». Розвантажені ОПВ від дверей «U1», «U2», ..., «UN» надходять на відповідні ASL. Модель прийняття рішень ASC отримує адресу ОПВ за QR-кодом ярлика, визначаючи, на який із двох терміналів – «А» або «В» – її буде відправлено. Кінцева мета сортування – доставити ОПВ до

параметрами ваги та габаритів та визначити номер завантажувальних дверей «L», на які вони повинні транспортуватися. Для класифікації повинні використовуватися діапазони значень ваги та габаритів ОПВ, які збільшуються відповідно до зростання номера завантажувальних дверей «L1», «L2», ..., «LN».

Реалізоване сортування ОПВ має забезпечувати два варіанти логіки завантаження:

– перший варіант логіки завантаження показаний на рис. 1 для терміналу «А». Спочатку завантажуються ОПВ, параметри яких визначаються максимальним діапазоном значень їхньої ваги та габаритів (двері «LN»). Далі вантажівка послідовно завантажується на дверях з позначеннями «LN», «LN-1», ..., «L1», відповідно до зменшення значень діапазонів ваги та габаритів. Така черговість завантаження дозволяє спочатку завантажувати найважчі і великогабаритні ОПВ, а закінчувати завантаження найлегшими і малогабаритними. Тим самим забезпечується можливість компактного завантаження кузова вантажівки і знижується ризик пошкодження ОПВ під час їх розміщення однієї на одній;

– другий варіант логіки завантаження показаний на рис. 1 для терміналу «В». Для цього варіанта розглядається одночасне завантаження N вантажівок на дверях «L1», «L2», ..., «LN». Така логіка завантаження дозволяє одночасно завантажувати ОПВ з однаковими діапазонами ваги. Такий варіант завантаження теж забезпечує можливість компактного завантаження кузова вантажівки зі зниженням ризику пошкодження ОПВ.

5. Розробка логіко-алгебраїчної моделі прийняття рішень

Розглянемо множину $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ ОПВ, доставлених для сортування в PSC. Кожен елемент множини P характеризується набором параметрів $\{e, h, w, d\}$, де e – вага; h – висота; w – ширина; d – глибина. Логіко-алгебраїчна модель прийняття рішень ASC за результатами класифікації параметрів ОПВ повинна визначити номер завантажувальних дверей терміналу, на які ОПВ транспортуються. Класифікація ОПВ реалізується на основі діапазонів їхньої ваги та габаритів, визначених для кожних завантажувальних дверей.

Задамо скінченну множину числових позначень (номерів) завантажувальних дверей терміналів $L = \{k\}$, $k=1,2, \dots, N$. Для кожного номеру завантажувальних дверей із множини L визначимо підмножини діапазонів значень параметрів $\{e, h, w, d\}$ ОПВ

$$L = \{1, 2, \dots, N\} = \{\{\Delta h_1, \Delta w_1, \Delta d_1, \Delta e_1\}, \{\Delta h_2, \Delta w_2, \Delta d_2, \Delta e_2\}, \dots, \{\Delta h_k, \Delta w_k, \Delta d_k, \Delta e_k\}, \dots, \{\Delta h_N, \Delta w_N, \Delta d_N, \Delta e_N\}\}, k = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

де $\{\Delta e_k, \Delta h_k, \Delta w_k, \Delta d_k\}$ – підмножина неперетинних діапазонів значень параметрів ОПВ, визначених для заданого номера k завантажувальної двері.

Використовуючи теорію алгебри скінченних предикатів [19], [20], визначимо умови приналежності ОПВ з параметрами (e, h, w, d) до завантажувальних дверей у вигляді предиката

$$R(e, h, w, d) = \bigvee_{q=1}^N \Delta e_q(e) \wedge \left(\bigvee_{j=1}^N \Delta h_j(h) \wedge \left(\bigvee_{m=1}^N \Delta w_m(w) \wedge \left(\bigvee_{s=1}^N \Delta d_s(d) \right) \right) \right) \quad (2)$$

де предикати $\Delta e_q(e)$, $\Delta h_j(h)$, $\Delta w_m(w)$, $\Delta d_s(d)$ визначають приналежність значень параметрів $\{e, h, w, d\}$ ОПВ до діапазонів значень $\{\Delta e_q, \Delta h_j, \Delta w_m, \Delta d_s\}$ з індексами q, j, m, s=1,2, ..., N, що позначають номери завантажувальних дверей.

Предикати приналежності діапазонам $\Delta e_q(e)$, $\Delta h_j(h)$, $\Delta w_m(w)$, $\Delta d_s(d)$ задаються у вигляді виразу [19]

$$\Delta x_k(x) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } x \in \Delta x_k; \\ 0, \text{ якщо } x \notin \Delta x_k, \end{cases} \quad (3)$$

де x – один із параметрів набору $\{e, h, w, d\}$; Δx_k – позначення відповідного діапазону з $\{\Delta e_k, \Delta h_k, \Delta w_k, \Delta d_k\}$, визначеного для дверей з номером k . Приналежність значення параметра x діапазону Δx_k ($x \in \Delta x_k$) визначається виразом $\min(\Delta x_k) \leq x < \max(\Delta x_k)$.

Вираз (2) є диз'юнктивною нормальною формою (ДНФ), мінтерми якої визначають умови приналежності ОПВ з параметрами $\{e, h, w, d\}$ до однієї з завантажувальних дверей множини L . Тобто тільки один мінтерм із (2) набуває значення «TRUE» («1»), а інші – «FALSE» («0»). Кількість мінтермів у (2) визначається виразом $K=G^N$, де G – кількість контрольованих параметрів ОПВ; N – кількість завантажувальних дверей.

Виокремимо на множині P підмножини ОПВ $\{F_k\}$, $k=1,2, \dots, N$, параметри яких належать діапазонам $\{\Delta e_q, \Delta h_j, \Delta w_m, \Delta d_s\}$, а їхні індекси відповідають номерам завантажувальних дверей. Визначимо умови приналежності ОПВ до $\{F_k\}$ у вигляді предикатів $\{R_k\}$ з відповідними індексами. За допомогою матриці прийняття рішень (табл. 1) здійснюється відбір мінтермів m_{qjms} із (2) для предикатів $\{R_k\}$ відповідно до логіки сортування ОПВ.

Таблиця 1

Матриця прийняття рішень

F_k	R_k	Індекси предикатів мінтерму $m_{qjms} = \Delta e_q(e) \wedge \Delta h_j(h) \wedge \Delta w_m(w) \wedge \Delta d_s(d)$				Номер завантажувальних дверей
		$\Delta e(e)$, індекс q	$\Delta h(h)$, індекс j	$\Delta w(w)$, індекс m	$\Delta d(d)$, індекс s	
F_1	R_1	значення q	значення j	значення m	значення s	1
		
F_2	R_2	значення q	значення j	значення m	значення s	2
		
...
F_N	R_N	значення q	значення j	значення m	значення s	N
		

Критерії відбору мінтермів m_{qjms} з відповідними індексами для предикатів $\{R_k\}$ (табл. 1) представимо у вигляді системи імплікацій

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall m_{qjms} \xrightarrow{\text{IF } \{[q=k] \text{ AND } [((q=j=m) \text{ AND } (s \geq q)) \text{ OR } ((q=j=s) \text{ AND } (m \geq q)) \text{ OR} \\ \text{OR } ((q=m=s) \text{ AND } (j \geq q))\}} \rightarrow R_{k=q}; \\ \forall m_{qjms} \xrightarrow{\text{IF } \{[q=k] \text{ AND } [((j \geq q) \text{ AND } (m > q) \text{ AND } (s > q)) \text{ OR } ((j > q) \text{ AND } (m \geq q) \text{ AND } (s > q)) \text{ OR} \\ \text{OR } ((j > q) \text{ AND } (m > q) \text{ AND } (s \geq q)) \text{ OR } ((j > q) \text{ AND } (m > q) \text{ AND } (s > q))\}} \rightarrow R_{k=q+1}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Логіка сортування ОПВ і відбору мінтермів $m_{qjms} = \Delta e_q(e) \wedge \Delta h_j(h) \wedge \Delta w_m(w) \wedge \Delta d_s(d)$, що приймають значення «TRUE», реалізується згідно з системою (4) за двома взаємовиключними умовами. За цими умовами порівнюються значення індексу q предикату ваги $\Delta e_q(e)$ з індексами $\{j, m, s\}$ предикатів габаритів $\Delta h_j(h)$, $\Delta w_m(w)$, $\Delta d_s(d)$:

– за умовою першої імплікації, якщо в мінтермі m_{qjms} не більше одного індексу з $\{j, m, s\}$, що перевищує q , то цей мінтерм належить предикату R_q і ОПВ транспортується до завантажувальних дверей з номером q ;

– за умовою другої імплікації, якщо в мінтермі m_{qjms} два й більше індексів з $\{j, m, s\}$ перевищують значення індексу q , то цей мінтерм належить до предикату R_{q+1} і ОПВ транспортується до завантажувальних дверей з номером $q+1$.

Відібрані предикати $\{R_k\}$, що реалізують задану логіку сортування ОПВ за номерами завантажувальних дверей, подаються у вигляді системи імплікацій

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1 : R_1 = \bigvee_{j,m,s,q} m_{jmsq}; (\exists! m_{qjms} : R_1) \rightarrow 1; \\ F_2 : R_2 = \bigvee_{j,m,s,q} m_{jmsq}; (\exists! m_{qjms} : R_2) \rightarrow 2; \\ \dots \\ F_N : R_N = \bigvee_{j,m,s,q} m_{jmsq}; (\exists! m_{qjms} : R_N) \rightarrow N, \end{array} \right. \quad (5)$$

де m_{qjms} – мінтерми з (2), що визначають умови приналежності ОПВ до підмножин $\{F_k\}$.

Система предикатів (5) є логіко-алгебраїчною моделлю прийняття рішень, що виконує завдання класифікації та реалізації заданої логіки сортування ОПВ з урахуванням діапазонів їхніх параметрів. Система (5) має тільки одне рішення, яке відповідає одному мінтерму з виразів усіх предикатів $\{R_k\}$, що визначає умову істинності приналежності параметрів ОПВ до відповідних діапазонів значень ваги і габаритів, пов'язаних з номером завантажувальної двері.

6. Методика практичної реалізації логіко-алгебраїчної моделі прийняття рішень ASC із заданою логікою сортування об'єктів поштового відправлення

Розробка та реалізація логіко-алгебраїчної моделі прийняття рішень ASC проводиться за такими етапами:

- визначення конфігурації терміналів PSC;
- визначення діапазонів значень параметрів ОПВ для завантажувальних дверей терміналу;
- формалізація предикатів $\{RN\}$ відповідно до заданої логіки сортування ASC.

6.1. Визначення конфігурації терміналів PSC

Розглянемо PSC з терміналами, кожен з яких обладнаний трьома завантажувальними дверима. Кінцева множина позначень (номерів) завантажувальних дверей терміналів $L = \{1, 2, 3\}$. Сортування ОПВ здійснюється за трьома завантажувальними дверима із позначеннями «1», «2», «3».

6.2. Визначення діапазонів значень параметрів об'єктів поштового відправлення для завантажувальних дверей терміналу

Визначимо діапазони значень параметрів ОПВ $\{\Delta e_k, \Delta h_k, \Delta w_k, \Delta d_k\}$ для заданих номерів завантажувальних дверей (табл. 2).

Таблиця 2

Діапазони значень параметрів ОПВ					Номер завантажувальних дверей L
k	Δe_k , кг	Δh_k , см	Δw_k , см	Δd_k , см	
k=1	$0 \leq e < 20$	$0 \leq h < 50$	$0 \leq w < 50$	$0 \leq d < 50$	1
k=2	$20 \leq e < 40$	$50 \leq h < 100$	$50 \leq w < 100$	$50 \leq d < 100$	2
k=3	$40 \leq e < 60$	$100 \leq h < 150$	$100 \leq w < 150$	$100 \leq d < 150$	3

У табл. 2 діапазони параметрів, що визначають габарити ОПВ, обрані однаковими. Це зумовлено тим, що не всі логістичні компанії зберігають дані про ваги та габарити ОПВ в

QR-коді їхніх ярликів. У цьому випадку вага та габарити ОПВ визначаються за допомогою вимірювальних засобів ASC за результатами обробки їхніх 3D-зображень. Однак під час розвантаження ОПВ розміщується на платформі транспортера випадковим чином. Тому неможливо визначити, до яких параметрів $\{h, w, d\}$ належать вимірювані значення габаритів.

6.3. Формалізація предикатів відповідно до заданої логіки сортування ASC

Перепишемо вираз (2) для відомої кількості завантажувальних дверей

$$R(h, w, g, v, c) = \bigvee_{q=1}^{N=3} \Delta e_q(e) \wedge \left(\bigvee_{j=1}^{N=3} \Delta h_j(h) \wedge \left(\bigvee_{m=1}^{N=3} \Delta w_m(w) \wedge \left(\bigvee_{s=1}^{N=3} \Delta d_s(d) \right) \right) \right) =$$

$$= m_{1111} \vee m_{1112} \vee m_{1113} \vee m_{1121} \vee m_{1122} \vee m_{1123} \vee m_{1131} \vee m_{1132} \vee m_{1133} \vee \dots \vee m_{3332} \vee m_{3333}$$

де $m_{qjms} = \Delta e_q(e) \wedge \Delta h_j(h) \wedge \Delta w_m(w) \wedge \Delta d_s(d)$ – позначення мінтермів.

Формалізація предикатів $\{R_k\}$ проводиться шляхом відбору для них мінтермів з виразу (6) із заданими індексами $\{q, j, m, s\}$ та з урахуванням умов реалізації заданої логіки сортування. Кількість мінтермів визначається виразом $K = G^N, = 4^3 = 81$, де $G = 4$ – кількість параметрів ОПВ, а $N = 3$ – кількість завантажувальних дверей.

Мінтерми, відібрані відповідно до критеріїв (4), представлені у вигляді матриці прийняття рішень (табл. 3). Для зменшення обсягу табл. 3 наводяться не всі правила. Відповідно до даної матриці, відібрані предикати $\{R_k\}$, що реалізують задану логіку сортування ОПВ, подаються у вигляді системи імплікацій (5).

Узагальнені результати тестування моделі отримано у вигляді функцій відгуків для фіксованих діапазонів ваги ОПВ (рис. 2).

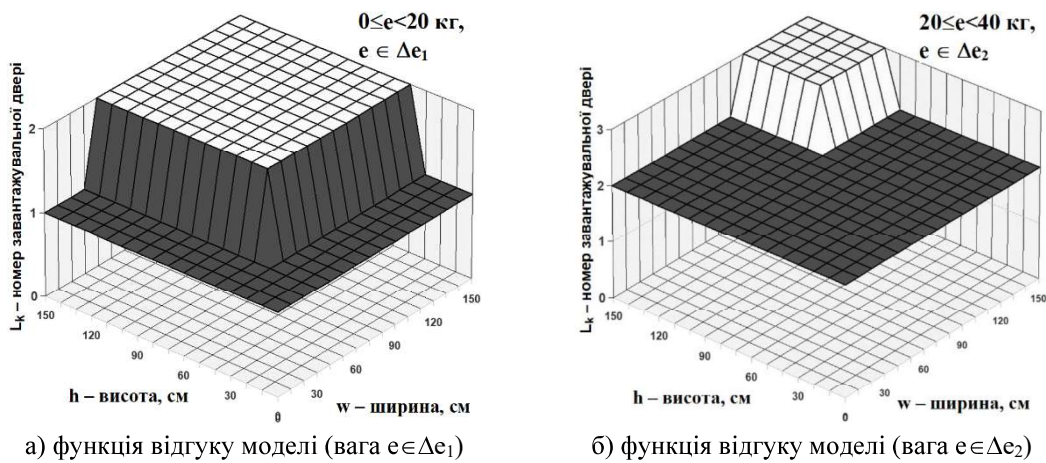


Рис. 2. Функція відгуку моделі прийняття рішень

На рис. 2, а представлено функцію відгуку моделі для фіксованого діапазону ваги $e \in \Delta e_1$ і двох вхідних параметрів – ширини та висоти, значення яких змінюються в усіх діапазонах, визначених у табл. 2. Другий варіант функції відгуку моделі (рис. 2, б) представлено для фіксованого діапазону ваги $e \in \Delta e_2$ з аналогічними діапазонами зміни ширини та висоти.

Аналіз отриманих функцій відгуку моделі прийняття рішень ASC (рис. 2) дозволяє зробити висновок, що всі критерії сортування реалізовано, а розроблена модель повністю

відповідає поставленому завданню і може використовуватися для управління сортуванням ОПВ за заданими критеріями.

Таблиця 3

Матриця прийняття рішень для трьох завантажувальних дверей

F _k	R _k	№	Індекси предикатів мінтерму $\Delta e_q(e) \wedge \Delta h_j(h) \wedge \Delta w_m(w) \wedge \Delta d_s(d)$				Номер завантажувальної двері L
			$\Delta e(e)$, індекс q	$\Delta h(h)$, індекс j	$\Delta w(w)$, індекс m	$\Delta d(d)$, індекс s	
F ₁	R ₁	1	1	1	1	1	1
		2	1	1	1	2	
		3	1	1	1	3	
		4	1	1	2	1	
		5	1	1	3	1	
		6	1	2	1	1	
		7	1	3	1	1	
F ₂	R ₂	8	1	1	2	2	2
		9	1	1	2	3	
		10	1	1	3	2	
		11	1	1	3	3	
		12	1	2	1	2	
		
		47	2	3	2	2	
F ₃	R ₃	48	2	1	3	3	3
		49	2	2	3	3	
		50	2	3	1	3	
		51	2	3	2	3	
		52	2	3	3	1	
		
		81	3	3	3	3	

7. Обговорення результатів дослідження

Запропонована модель прийняття рішень ASC з чіткою логікою сортування ОПВ з урахуванням їхніх параметрів ваги та габаритів, на відміну від нечітких моделей [1], [2], дозволяє знизити складність її апаратної та програмної реалізації і спростити обслуговуючому персоналу налаштування її параметрів. Налаштування передбачає завдання параметрів сортування відповідно до критеріїв (4), а також граничних значень діапазонів ваги і габаритів ОПВ для завантажувальних дверей терміналів PSC.

Реалізована логіка сортування дозволяє забезпечити два варіанти компактного завантаження вантажівок з дотриманням умови збереження цілісності ОПВ. Перший варіант – послідовне завантаження ОПВ, починаючи з найважчих і великогабаритних і закінчуючи найлегшими і малогабаритними. Другий варіант – одночасне завантаження вантажівок на всіх дверях терміналу ОПВ однакових діапазонів ваги.

Недоліком розробленої моделі прийняття рішень ASC слід вважати високу розмірність мінтермів (2), що використовуються для реалізації логічних умов сортування ОПВ, яка визначається кількістю завантажувальних дверей терміналів і пов'язаною з ними кількістю діапазонів ваги та габаритів ОПВ. Виходячи із зазначеного недоліку, можна визначити такі напрями подальших досліджень:

- проведення досліджень з реалізації налаштувань моделі прийняття рішень для оператора ASC;
- проведення досліджень щодо зниження розмірності мінтермів (2), що

використовуються для реалізації логічних умов сортування ОПВ.

Важливо відзначити, що розроблена модель є гнучкою і може використовуватися для реалізації іншої логіки сортування ОПВ, яка визначається критеріями (4), та інших варіантів завантаження вантажівок.

8. Висновки

Розроблена логіко-алгебраїчна модель прийняття рішень може бути використана в автоматичних сортувальних конвеєрах різного призначення для реалізації сортування об'єктів, що транспортуються, відповідно до параметрів їхньої ваги та габаритів та реалізації різних варіантів їх завантаження.

Перелік посилань:

1. Гребеннік І.В., Коваленко О.А. Нечітка модель прийняття рішень для автоматичної сортувальної лінії пошти. *АСУ і прилади автоматизації*. 2024. Вип. 180. С. 16–26. DOI: 10.30837/0135-1710.2024.180.016.
2. Grebennik I., Kovalenko O. Realisation of a Given Trucks Loading Logic using a Fuzzy Decision Making Model. *14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic. Publisher: IEEE*. 2024. PP. 27-31. DOI: 10.1109/ACIT62333.2024.10712615.
3. Ahamed M., Gu H. Package sorting control system based on barcode detection. *7th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE), Xi'an, China*. 2022. PP. 148-152. DOI: 10.1109/CACRE54574.2022.9834212.
4. Mandale A., Jumle P., Wanjari M., Biranje D. Automated Parcel Sorting System. *11th International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology - Signal and Information Processing (ICETET - SIP), Nagpur, India*. 2023. PP. 1-5. DOI: 10.1109/ICETET-SIP58143.2023.10151624.
5. Kannaki S., Karthigai Lakshmi S., Harish V., Manikandan R., Saktheeswaran G. Development of Advanced Automatic Sorting Machine using Weighing Mechanism. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8 (3). PP. 1703-1707. DOI: 10.35940/ijrte.C4451.098319.
6. Riky Tri Yunardi, Winarno Pujiyanto. Contour-based object detection in Automatic Sorting System for a parcel boxes. *International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)*. 2015. PP. 38-41. DOI: 10.1109/ICAMIMIA.2015.7507998.
7. Oladapo B.I., Balogun V.A., Adeoye A.O.M., Ijagbemi C.O., Oluwole A.S., Daniyan I.A., et al. Model design and simulation of automatic sorting machine using proximity sensor. *Eng. Sci. Technol., Int. J.* 2016. Vol. 19. PP. 1452-1456. DOI: 10.1016/J.JESTCH.2016.04.007.
8. Aashika Prasad, Gowtham M., Mohanraman S., Suresh M. Automatic Sorting Machine. *International research journal of multidisciplinary technovation (IRJMT)*. 2020. Vol. 2(1), PP. 7-12. DOI: 10.34256/irjmt2102.
9. Jarrah Ahmad I., Xiangtong Qi, Bard J.F., The Destination-Loader-Door Assignment Problem for Automated Package Sorting Centers. *Transportation Science*. 2014. 50(4):1314–1336. DOI: 10.1287/trsc.2014.0521.
10. Werners B., Wülfing T., Robust optimization of internal transports at a parcel sorting center operated by Deutsche Post World Net. *Eur. J. Oper. Res.* 2010. 201(2):419–426. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.02.035.
11. Bugow S., Kellenbrink C. The parcel hub scheduling problem with limited conveyor capacity and controllable unloading speeds. *OR Spectrum*. 45, 2023. PP. 325–357. DOI: 10.1007/s00291-022-00702-y.
12. McWilliams D.L., Stanfield P.M., Geiger C.D. The parcel hub scheduling problem: A simulation-based solution approach. *Computers & Industrial Engineering*. 2005. Vol. 49(3). PP. 393–412. DOI: 10.1016/j.cie.2005.07.002.
13. Chen J.C., Chen Tzu-Li, Lee Yu-Hsin. Simulation optimization for parcel hub scheduling problem in closed-loop sortation system with shortcuts. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2023. Vol. 124(10):102728. DOI: 10.1016/j.simpat.2023.102728.
14. Chen J.C., Chen Tzu-Li, Ou Ting-Chieh, Lee Yu-Hsin. Adaptive genetic algorithm for parcel hub scheduling problem with shortcuts in closed-loop sortation system. *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Vol. 138:106114. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106114.
15. Dupas R., Grebennik I., Litvinchev I., Romanova T., Chorna O. Solution Strategy for One-to-One Pickup and Delivery Problem Using the Cyclic Transfer Approach. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web, Special issue on Energy Conservation, Information Technologies and Large Scale Optimization*. 2020. Vol. 7 (27). DOI: 10.4108/eai.13-7-2018.164110.
16. Fedtke S., Boysen N., Layout Planning of Sortation Conveyors in Parcel Distribution Centers. *Transportation Science*. 2014. 51(1):3–18. DOI: 10.1287/trsc.2014.0540.

17. Chen Tzu-Li, Chen J.C., Huang Chien-Fu, Chang Ping-Chen. Solving the layout design problem by simulation-optimization approach – A case study on a sortation conveyor system. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2021. Vol. 106:102192. DOI: 10.1016/j.simpat.2020.102192.

18. ICONVEY® Sortation Conveyor. URL: www.iconveytech.com/products/sortation-conveyor/ (дата звернення: 06.11.2024).

19. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П., Про алгебру скінченних предикатів. *Біоніка інтелекту*. 2011. № 3 (77). С. 3-13.

20. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П., Шабанов-Кушнаренко С.Ю. Нормальні форми формул алгебри скінченних предикатів. *Біоніка інтелекту*. 2011. № 3 (77). С. 14-29.

Надійшла до редколегії 12.11.2024

Гребеннік Ігор Валерійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системотехніки ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: igor.grebennik@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3716-9638>.

Коваленко Олексій Андрійович, аспірант кафедри системотехніки ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: oleksii.kovalenko3@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4779-6161>.

UDC 004.4:656.7:629.7

DOI: 10.30837/0135-1710.2024.183.014

L.M. LUTAI

COMPONENT MODELS OF DEGRADATION ASSESSMENT FOR RECOVERY OF AVIATION EQUIPMENT DURING ITS MAINTENANCE

The study set and solved the task of creating models that allow planning actions to ensure the required level of reliability of aviation equipment (AE) and extend its service life. A component model has been developed, based on which it is possible to determine the impact of degradation processes on the state of AE. The model uses a multi-level representation of the component architecture of an AE sample and system decomposition. The proposed model allows making decisions regarding the replacement or repair of components that are subject to degradation. The modeling of maintenance processes during airport operation is carried out. The relationship between agents of the proposed multi-agent model of AE restoration at the airport is investigated. A model for optimizing the selection of a supplier of AE components to the airport has been proposed, which will reduce the duration and cost of maintenance of the AE in operation.

1. Introduction

During operation, aviation equipment (AE) is exposed to various climatic, mechanical, electromagnetic external influences that accelerate internal degradation processes, which, in turn, reduce the life of the AE or lead to gradual failures of the technical system as a whole or its components. Failure is an event that consists in violating the operational state of a technical product. During the operation of the AE, there is a need to predict the occurrence of failures. During maintenance (aircraft maintenance, AM), an analysis of changes in parameters that characterize the ability of the product to perform certain functions is carried out. The occurrence of possible failures is associated with the process of wear, corrosion, creep of materials, etc.

AM planning consists in determining, even at the stages of the development of the AE, the requirements for the composition and frequency of scheduled maintenance work, the implementation of which provides an assessment of the level of reliability and safety of the AE. For each AE product, a warranty resource and service life are established. After the expiration of at least one of them, the manufacturer's warranty is terminated.

AM is carried out by the forces and means of operating organizations in accordance with operational documentation and with the aim of maintaining the operability or serviceability of