

УДК 656.211.3:656.211.5

В. В. СКАЛОЗУБ^{1*}, Л. О. ПАНІК^{2*}, Б. Б. БІЛИЙ^{3*}, М. В. СКАЛОЗУБ^{4*}

^{1*} Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-35, ел. пошта skalozub.vl.v@gmail.com, Scopus Author ID: 15731663600, ORCID – 0000-0002-1941-4751

^{2*} Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-35, ел. пошта leon-docent@mail.ru, ORCID – 0000-0003-1343-3000

^{3*} Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-35, ел. пошта hibarike@gmail.ru, ORCID – 0000-0001-8324-4673

^{4*} HiQ AB Stockholm, Sweden. ел. пошта skalozub.m@gmail.com, ORCID - 0000-0002-7931-7910

МОДЕЛІ ТА ПРОЦЕДУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ БАГАТОГРУПОВИХ СОСТАВІВ І УПОРЯДКУВАННЯ НЕОДНОРІДНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ЗАМОВЛЕНЬ

Мета. В статті представлено розвиток математичних моделей інтелектуальної технології формування багатогрупових залізничних составів, а також виконано перехід до її узагальнення та формування математичних моделей логістичного завдання упорядкування неоднорідних послідовностей замовлень. **Методика.** В роботі запропоновано підхід до моделювання процесів розформування-формування багатогрупових составів, а також конструктивних процесів упорядкування наборів неоднорідних послідовностей замовлень засобами теорії орієнтованих графів. Сформовано удосконалену структуру інтелектуальної інформаційної технології упорядкування послідовностей замовлень, яка використовує процедури управління базами знань. **Результати.** У статті запропоновані нові постановки завдань упорядкування недетермінованих послідовностей, що відрізняються урахуванням різної складності («ваги») операцій конструювання. Запропоновано метод формування моделей процесів упорядкування на основі теорії орієнтованих та зважених графів. Для реалізації графічних моделей упорядкування послідовностей елементів запропоновані паралельні синхронні алгоритми планування потоків у мережах. Розроблено спеціалізовані метрики упорядкування послідовностей, використання яких дозволило реалізувати завдання упорядкування послідовностей «з вагою», а також побудувати ефективні процедури пошуку шаблонів у базах знань процесів розформування-формування багатогрупових составів. **Наукова новизна.** Вперше завдання щодо упорядкування неоднорідних послідовностей замовлень, а також завдання розформування-формування багатогрупових составів, представлені моделями на графах – моделями критичного шляху та максимальних потоків мінімальної вартості. Удосконалено метрики щодо визначення ступеня упорядкування послідовностей, а також процедури пошуку аналогів у базах знань. **Практична значимість.** Представлення процесів упорядкування неоднорідних послідовностей замовлень і завдань розформування-формування багатогрупових составів класичними моделями оптимального планування на основі теорії графів дозволяє підвищити ефективність, результативність та достовірність відповідних процесів планування. Інтелектуальна інформаційна технологія за рахунок використання засобів баз знань дозволить зменшити витрати на планування процесів розформування-формування багатогрупових залізничних составів.

Ключові слова: недетерміновані послідовності; завдання упорядкування; вартість операцій; багатогрупові залізничні состави, розформування-формування; інтелектуальні технології; графічні моделі; максимальний потік мінімальної вартості; паралельні алгоритми

Вступ

У різноманітних сучасних технологіях (виробничих, транспортних, логістичних, інформаційних ін.) широко використовуються завдання і процедури, які зводяться до конструктивного упорядкування (оптимального) елементів певних множин або недетермінованих послідовностей, з метою отримання визначених структур [1-3, 7]. В [2] була досліджена модель

управління ланцюгами постачання для оптимізації можливості сортування замовлень дистрибуційного логістичного центру. Застосування моделей групового сортування для вибору функцій класифікації даних приведене у статті [4]. Постановки та методи вирішення таких завдань суттєво відрізняються від відомих завдань сортування [1, 5] та подібних. Завдання щодо «упорядкування» визначаються потребами

урахування особливостей операції «доступу» до елементів, «конструювання» послідовностей, а також «витрат» певних ресурсів («ваги») на свою реалізацію.

Визначним прикладом залізничної логістичної технології, яка базується на процесах конструктивного упорядкування з «вагою» операцій, є технологія розформування-формування (РФ) залізничних составів. Формування составів, особливо багатогрупових (БГС), є одним з найбільш трудомістких етапів процесу переробки вагонів на станціях і також помітно впливає на терміни доставки вантажів [1, 3].

Формування БГС поїздів спрямоване саме на влаштування вагонів у визначеному порядку і є однією з масових операцій, що виконуються на залізниці. У зв'язку з цим скорочення тривалості маневрових операцій для формування багатогрупових поїздів є актуальним завданням залізничного транспорту. Серед існуючих методів РФ відзначаються такі: комбінаторний, розподільний, основний, і подвійний ступінчасті методи, а також метод рівномірного нарощування [1, 3]. У роботах [1, 3] побудована функціональна модель процесу формування багатогрупових составів різними обчислювальними методами, засобами різних технічних засобів. При цьому виконана ідентифікація моделі і перевірена її адекватність. Через значну складність і особливості конструктивних (шляхом побудови) операцій для дослідження таких процесів упорядкування використовують методи імітаційного моделювання. У тому числі і для процесів розформування БГС [1].

У роботі [3] для дискретної детермінованої керованої системи, яка імітує роботу залізниці, отримано нове математичне викладення проблеми вибору оптимального порядку формування багатогрупового поїзда. Набір можливих станів досліджуваної системи та переходи між ними були представлені у вигляді спрямованого графа. Таке представлення дозволило звести проблему вибору порядку формування поїзда до проблеми пошуку найкоротших шляхів на орієнтованих графах. За рахунок цього запропоновано алгоритм пошуку оптимального порядку формування поїздів.

Можливо визначити декілька напрямків досліджень для вирішення завдань конструктивного упорядкування з «вагою». Серед них для нашої статті відзначаються наступні. Розвиток конструктивних моделей і методів [8, 9, 11]. Формування моделей операцій із заданими властивостями, а також метрик для порівняння станів процесів упорядкування [3, 8, 10]. Розробка

нових змістовних та формальних постановок завдань упорядкування [2, 3, 5, 8]. Розробка спеціалізованих інтелектуальних пошукових алгоритмів (генетичних [10] та ін.), призначених для реалізації завдань упорядкування «з вагою», у тому числі для процесів РФ составів [1, 3, 8].

У статті досліджені нові змістовні та формальні постановки завдань упорядкування недетермінованих послідовностей, які представлені моделями потоків у мережах та відрізняються урахуванням різної складності («ваги») окремих операцій конструювання. Для реалізації зазначених завдань упорядкування послідовностей елементів запропоновано використання паралельних синхронних алгоритмів планування потоків у мережах. Також отримали розвиток процедури інтелектуальної технології РФ багатогрупових составів за рахунок уведення спеціалізованих метрик, призначених для визначення кількісних оцінок неупорядкованості числових послідовностей. На основі такої метрики удосконалені існуючі методи РФ, а також процедури пошуку шаблонів у базах даних шаблонів (БЗнШ), в яких накопичується «досвід» раціонального РФ багатогрупових составів.

Графові моделі упорядкування неоднорідних послідовностей з урахуванням складності операцій

Виділимо змістовну та формальну постановку завдань щодо упорядкування неоднорідних послідовностей, а також задачу побудови моделей графів, які представляють процеси конструктивного упорядкування з урахуванням складності операцій (УПСО) формування. Змістовна постановка завдань упорядкування вхідних послідовностей (in-seq) УПСО щодо конструювання цільових послідовностей елементів (out-seq) полягає у наступному. Вважаються відомими множина (багато потокова модель) та елементи in-seq замовлень (з їх властивостями – індекс out-seq, pos-індексу (pos-ind) призначення, вимірювані показники, припустимі операції, пріоритет ін.), сукупність операцій конструювання out-seq з оцінками відносної /абсолютної складності (ваги), загальні ресурси та обмеження щодо можливостей процесів конструювання вихідних потоків, умови або вимоги завершення процедур конструювання послідовностей out-seq. Необхідно побудувати модель процесу формування на основі неупорядкованих in-seq замовлень множини упорядкованих за pos-ind призначення out-seq таким чином, щоб мінімізувати загальні витрати на процеси формування при виконанні умов складності операцій

конструювання та ресурсних обмежень. Багато потоків означає можливість існування елементів із однаковим індексом out-seq потоку у кількох in-seq послідовностях замовлень.

Представимо структуру моделей завдань УПСО так

$$(S \rightarrow Q) : \{S_p \rightarrow Q_q\}, p, q = 1, 2, \dots, d \quad (1)$$

де p – кількість послідовностей in-seq, q – число out-seq потоків моделей УПСО, що відрізняються величинами (p, q) , а d – граничне значення множин. Надалі будемо позначати структури моделей УПСО виду $S_1 \rightarrow Q_1, S_m \rightarrow Q_1, S_1 \rightarrow Q_r$, тощо, як S_1Q_1, S_mQ_1, S_1Q_r . Послідовності S_p та Q_q містять неподільні елементи $e_i(p), e_j(q)$ (замовлення), які визначають номерами i_p (вхідні неупорядковані) та i_q (вихідні упорядковані), а також індекси призначення замовлень n_q для i_q . Між елементами out-seq потоків $e_k(q)$ та $e_m(q)$ виконується звичайна умова упорядкування відповідно індексів pos-ind n_q .

$$n_r(q) \leq n_m(q), \text{ if } r < m$$

де через r та m позначені номери елементів out-seq Q_q . В роботі встановлено, що при реалізації всі структури моделей УПСО (1) можуть бути приведені до основної базової структури S_1Q_1 .

Нашим головним завданням щодо моделювання процесів упорядкування УПСО (1) являється їх представлення у формі потоків у мережах. Далі вони були зведені до моделей пошуку найкоротших шляхів (МКШ) та максимальних потоків мінімальної вартості (МПВ). Такі завдання досліджені в багатьох публікаціях, зокрема [5, 6, 12]. У статті [12] розроблені паралельні алгоритми чисельної реалізації таких завдань. Модель мережі потоку впорядкування це орієнтований граф $G = (V, E)$, в якому V – множина вузлів, E – множина ребер, де кожне ребро (u, v) має позитивну пропускну здатність $c(u, v) > 0$ і потік $f(u, v)$ [2, 4, 6, 7]. Виділяють дві вершини: виток s та стік t такі, що люба інша вершина мережі лежить на шляху із вершини s до вершини t . Модель потоку впорядкування послідовностей така

$$G = \{(V, E), c, s, t\} \quad (2)$$

Відмінність нашої моделі (2) полягає в тому, що граф $G = (V, E)$ безпосередньо не задається, а

утворюється шляхом конструювання в процесі функціонування алгоритму моделювання процесу УПСО. Процедури формування таких моделей графів реалізуються конструктивно-продукційними (КП-С) засобами виду

$$C = \langle M, \Sigma, \Lambda \rangle, \quad (3)$$

де M – неоднорідний носій, Σ – список відносин та відповідних операцій (наприклад, зв'язування, підстановка, виведення над атрибутами), Λ – набір засобів інформаційного забезпечення конструктивної побудови включаючи: правила, обмеження, умови початку та завершення побудови моделей, онтологію тощо.

Складові набори моделі (3) визначаються на основі дослідження допустимих операцій процесів упорядкування УПСО, правил оцінювання ступеня упорядкування послідовностей за певними метриками, правил оцінювання ресурсів операції тощо. Елементи моделі (3) визначаються нижче. При цьому для конкретності викладання нами розглядаються моделі графів для операцій процесів розформування-формування составів [1, 3, 8].

Формально процедури КП-С генерують багатокрокові послідовності станів моделі процесу конструювання (графи), які утворюються за правилами (3) [9, 11, 13]. В багатьох завданнях такі процеси формують графічні структури вигляду дерев, які певним чином інтерпретуються [4, 10]. Особливість конструктивних моделей (3) для завдань УПСО (1) полягає в забезпеченні формування (2) з необхідними властивостями. Для вирішення завдань УПСО властивості утворюваних графів типу (2) повинні забезпечити наступне: - представлення керованих кінцевих процесів упорядкування (1), як потоків у мережах; - можливості оцінювання ваги (міри складності) окремих гілок або потоків через мережу; - поєднання операцій генерації моделі графу процесу з оцінюванням та відбором варіантів для процедур оптимізації; - можливості застосування паралельних алгоритмів аналізу потоків у мережах.

Наведемо неформальні але достатні для розуміння сутності графічних моделей процедур УПСО засоби побудови, аналізу та оптимізації завдань (1), що забезпечують зазначені вище властивості (2). В процесах упорядкування послідовностей S_p та Q_q кількість елементів (замовлень) $\{e_i(p), e_j(q)\}$ залишається постійною при любых операціях на всіх етапах формування вихідних послідовностей Q_q . Збереження кількості замовлень на всіх стадіях формування

графічних моделей (2) забезпечує умову збереження потоків у вузлах. Для забезпечення керованості та закінченості моделей процесів упорядкування (1) була уведена спеціальна міра «ступеня неупорядкованості» (СН) послідовностей. При повному упорядкуванні S_p та Q_q величини їх $СН = 0$. У роботі в якості СН використана величина

$$M_S^{(1)} = \sum_k M_{S_1}(k) \quad (4)$$

$$M_{S_1} = \sum_{i=1}^{k-1} P_i; P_i = \{0; n_i < n_k \mid 1; n_i > n_k\},$$

яка для кожного « k » підраховує кількість зайвих елементів зліва / праворуч, та відповідає вимогам до метрик [5, 9]. У зворотному порядку $L(i > j, n_i > n_j)$ підраховують кількість порушень праворуч від позиції " k ". В конкретних завданнях упорядкування можливі певні варіації міри упорядкованості послідовності (4). Наприклад, для завдань РФ раціональною також являється метрика типу (4), в якій підраховується не лише кількість (число) зайвих елементів для позиції " k ", а і «відстань» між номерами кодів елементів (абсолютна різниця « d » між кодами, яка використовується у (4) замість «1»). Так для послідовності (2, 6, 1, 3) у позиції " k "=3 « d »=5, а для (2, 4, 1, 3) в цій же позиції « d »=3.

При конструюванні моделей графів потоків (2) за послідовними етапами засобами операцій (3) визначаються їх наступні характеристики – загальна сумарна оцінка величини складності шляху (витрати) до кожного вузла (W), а також загальна оцінка величини «ступеня неупорядкованості» системи упорядкування $СН(G)$. При розрахунках $СН(G)$ досліджуються всі можливі способи утворення варіантів (операції конкатенації [5, 9]) єдиної вихідної послідовності на основі поточних вузлів моделі (2) (G_k). Для кожного варіанту розраховується показник $СН(G_k)$ і найменше значення цього показника являється оцінкою величини $СН(G)$. При конструюванні на основі (3) моделей (2) на етапах відбираються такі операції, виконання яких зменшує величину $СН(G)$.

Різні послідовності операцій конструювання моделей процесу (2) можуть приводити до однакових поточних станів щодо розподілу елементів послідовностей S_p та Q_q в зонах оброблення, передбачених в (3). При поєднанні таких

тотожних станів отримують орієнтовані графи загального вигляду, відмінні від дерев. Всі можливі послідовності операцій конструювання моделей (2), для яких виконується умова упорядкування $СН(G) = 0$, мають один заключний стан – стік. Завдання щодо визначення з них послідовності з мінімальною загальною вагою операцій конструювання представляє модель МКШ.

Суттєве обмеження моделей МКШ полягає в неможливості відобразити паралельні операції впорядкування, тобто подати узгоджені потоки операцій. Для представлення паралельних послідовностей операцій упорядкування в (3) передбачені процедури, які для поточних станів графічних моделей визначають операції, які можуть бути реалізовані незалежно, з відповідним розподілом потоків замовлень. Множини генерованих при цьому послідовностей паралельних операцій утворюють потоки, що визначає модель МПВ. Паралельне виконання операцій упорядкування S_p та Q_q призводить до зменшення кількості етапів процесів (1). Оскільки загальна кількість елементів послідовностей (замовлень) при впорядкуванні постійна, формально МПВ визначає величину максимального потоку мінімальної вартості. Тож утворювані графові моделі МКШ відповідають процесам упорядкування «з одним виконавцем», а моделі МПВ представляють такі паралельні процеси «з кількома виконавцями». В цілому процеси конструктивного формування моделей МКН і МПВ організують та контролюють на основі метрик упорядкування СН (4). Утворені моделі МКН і МПВ дозволяють також досліджувати процеси (1) із недетермінованими та нечіткими параметрами. Постановки та представлення завдань упорядкування послідовностей вигляду (1) у формі моделей оптимального планування потоків у мережах МКШ та МПВ отримані нами в статті вперше. Для реалізації моделей МКШ та МПВ були застосовані модифіковані паралельні синхронні алгоритми аналізу неоднорідних потоків у мережах [12].

Як приклад змістовного моделювання процесів (1) на основі МПВ розглянемо завдання РФ складів [1, 8]. При цьому послідовність та зміст етапів моделювання базового завдання виду $S_1 \rightarrow Q_1$ залишаться такими самим також для інших процесів УПСО виду (1). Для моделювання процесів РФ складів змістовно використовують кілька маневрових операцій, які формально можна представити операціями конкатенації [5, 9]. За технологією упорядкування $S_1 \rightarrow Q_1$

елементів (вагонів) виконується в «зонах обслуговування» $Z_k, k = 1, 2, \dots, K$. Правила перерозподілу елементів $e_i(p), e_j(q)$ між зонами Z_k визначають операції РФ моделі (3). Доступ до Z_k , можливий «з голови» (Н) або «з кінця» (Е) послідовностей елементів. Операції формування задають номер зони Z_p , доступ {Н/Е}, кількість елементів (n), які передаються до зони Z_q за доступом {Н/Е}, з можливістю інверсії [І] (зміни порядку елементів на протилежний), наприклад,

$$H Z_p E Z_q [I](n) : H1E2(3). \quad (5)$$

Оператор (5) визначає такі дії перетворення ($S_p Q_q$): з початку (Н) послідовності $Z_p (p=1)$ відділяють (n=3) елементів, які інвертують (ознака І) та приєднують у кінець (Е) зони Z_q . При відсутності зміни порядку параметру [І] немає. Наведена структура (5) операцій моделі (3) формалізує всі типові процедури у завданнях РФ. Значимо що для виконання завдань РФ достатньо однієї зони $Z_k, k=1$. Також на основі структур виду (5) та поточного змісту зон Z_k можливо розраховувати оцінки ваги, складності операцій.

При формуванні моделей графів МКШ та МПВ необхідно мати функцію (відповідні операції), яка забезпечує раціональний поділ змісту зон обслуговування Z_k на частини, $DIV(Z_k)$. Результатом операції $DIV(Z_k)$ являється послідовність груп номерів елементів $e_i(p)$ зони Z_k , які не розділяються в операціях (5). Наприклад, $DIV1(5\ 4\ 2\ 6\ 8\ 7) = (G_1=(1\ 5\ 4\ 2)/G_2=(6\ 8\ 7))$, де у G_1 всі індекси призначення pos-ind менше любого pos-ind G_2 . Такі фрагменти G_1 та G_2 можуть оброблятися окремо, паралельно. До цих частин в подальшому можуть застосовуватися всі операції КП-С (3) виду (5), з метою побудови моделей графів процесів упорядкування (2). За рахунок застосування певних операцій виду (5) до результатів функцій $DIV(Z_k)$ будується черговий рівень графу моделі процесу РФ. На кроці побудови моделей (2) відбираються такі операції (5), які забезпечують зменшення показника СН процесів (1). Для характеристики станів графів процесів упорядкування G використовуються склади зон обслуговування $Z_k : (Z_1, Z_2, \dots, Z_K)$, а також показники міри упорядкування СН (4) і складності $W(G)$. Побудова моделі графу закінчується, якщо його показники $CH(G)=0$.

Моделювання процесів упорядкування неоднорідних послідовностей

Послідовності застосування операцій (5) до змісту зон (Z_1, Z_2, \dots, Z_K) утворюють моделі

графів процесів МКШ та МПВ. На них паралельними алгоритмами аналізу потоків у мережах [12] розшуковуються рішення завдань (1). Наведемо приклади фрагментів оптимальних рішень завдань упорядкування (1). Для цього використовується наступне кодування: стани моделі – зони (Z_1, Z_2, \dots, Z_K) ; результати поділу $DIV(Z_k)$ подають як $(G_1/G_2/G_k/\dots)$, наприклад, $DIV(4\ 3\ 2\ 7\ 5\ 6\ 4\ 3\ 1\ 2\ 7) = (4\ 3\ 2/7/5\ 6/4\ 3/1\ 2/7)$; виконувана операція відповідає (5), а знак «.» встановлює паралельне виконання операцій; знак номеру етапу моделювання «с»→; результат операції – послідовність отриманих значень зон Z_k ; pos-ind призначення – розділені «пробілами» числа. Числове кодування pos-ind замовлень також дозволяє скорочено представити групу елементів, які вже упорядковані. При таких позначеннях модель потоку МПВ для завдання $(Z_1, (5\ 4\ 2/6\ 9\ 7), Z_2, ())$ має вигляд:

«1» → E1H2(3) : $(Z_1, (5\ 4\ 2), Z_2, (6\ 9\ 7))$;

«2» → E1H1(2), H2E2(1) : $(Z_1, (2\ 4\ 5), Z_2, (9\ 7\ 6))$;

«3» → H2E1(3) : $(Z_1, (2\ 4\ 5\ 6\ 7\ 9), Z_2, ())$.

Легко перевірити, що для любого завдання РФ (S_1Q_1) достатньо однієї зони обслуговування Z_1 . Нехай $Z_1, (3\ 8\ 1/5\ 4\ 2/6\ 9\ 7)$, тоді оптимальна МКШ наступна:

«1» → H1E1(2) : $Z_1, (1\ 5\ 4/2\ 6\ 9\ 7\ 8\ 3)$;

«2» → H1E1(3) : $Z_1, (2\ 6\ 9\ 7\ 8\ 3\ 4\ 5/1)$;

«3» → E1H1(1) : $Z_1, (1\ 2\ 6/9\ 7\ 8\ 3\ 4\ 5)$;

«4» → H1E1(3) : $Z_1, (9\ 7\ 8\ 3\ 4\ 5\ 6/2\ 1)$;

«5» → E1H1(2) : $Z_1, (1\ 2\ 9\ 7/8\ 3\ 4\ 5\ 6)$;

«6» → H1E1(4) : $Z_1, (8\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7/9\ 2\ 1)$;

«7» → E1H1(3) : $Z_1, (1\ 2\ 9\ 8/3\ 4\ 5\ 6\ 7)$;

«8» → H1E1(4) : $Z_1, (3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9/2\ 1)$;

«9» → E1H1(2) : $Z_1, (1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9)$.

Для цього ж прикладу при побудові моделі паралельних потоків МПВ на трьох зонах $Z_k : (Z_1, Z_2, Z_3)$ отримано оптимальну модель процесу РФ $(S1Q1)$ вигляду

«1» → H1H2(2), E1H3(3)
: $(Z_1, (1\ 5\ 4\ 2), Z_2, (3\ 8), Z_3, (6\ 9\ 7))$;

«2» → H2E1(1), E2E3(1)
: $(Z_1, (1\ 5\ 4\ 2\ 3), Z_2, (), Z_3, (6\ 9\ 7\ 8))$;

«3» → H1H2(2), E343(2)
: $(Z_1, (4\ 2\ 3), Z_2, (1\ 5), Z_3, (8\ 7\ 6\ 9))$;

«4» → E2H1(1), E1H2(2), E3H3(1)
: $(Z_1, (5\ 4), Z_2, (3\ 2\ 1), Z_3, (9\ 8\ 7\ 6))$;

«5» → H1H2(2) : $(Z_1, (), Z_2, (5\ 4\ 3\ 2\ 1), Z_3, (9\ 8\ 7\ 6))$;

«6» → H2E3(5) : $(Z_1, (), Z_2, (), Z_3, (9\ 8\ 7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1))$.

Наведені найпростіші приклади разом з тим показують повноту визначених операцій конструктивної моделі (3) стосовно завдань РФ составів. Вони також дають уяву щодо результативності запропонованих моделей графів МКШ та

МПВ, призначених для оптимального упорядкування неоднорідних послідовностей з урахуванням складності операцій формування.

Процедури інтелектуальної технології формування багатогрупних составів

У нашому дослідженні [8] представлені структура і моделі інноваційної інтелектуальної технології по формуванню БГС на сортувальних станціях, яка використовує для формування весь попередній досвід таких процесів. У ній головною є завдання формування спеціалізованих моделей, методів і засобів зазначених процесів, що мають відміну від існуючих в переході від одного поточного окремого завдання формування складу (ЗФС), як в існуючих методиках і технологіях, до встановлення зв'язку цього ЗФС з раніше виконаними розрахунками. Результати таких розрахунків далі зберігаються в базах даних і базах знань автоматизованої системи формування багатогрупних составів (АСФБГС).

В рамках запропонованої у [8] АСФБГС окреме завдання ЗФС реалізується на основі послідовності наступних процедур: - пошук в базі знань найбільш «схожого» (в деякій певній метриці) на поточне завдання варіанту ЗФС, шаблону для ЗФС; - використання цього варіанту в якості основи для до-формування ЗФС на основі швидких алгоритмів розрахунку планів; - передача результату розрахунків для реалізації отриманої ЗФС; - поповнення баз знань оптимальним шаблоном, розрахованим на основі повного перебору для поточного завдання формування ЗФС.

В АСФБГС однією з головних задач моделювання є створення баз даних і баз знань [5, 8, 10] шаблонів процесів формування багатогрупних составів. У базах зберігаються оптимальні для процесів РФ структури складів, а також всі необхідні для їх відтворення характеристики. Для цього попередньо виконується кодування структури чергового складу поїзда, перетворення кодів станцій призначення вагонів у відповідні внутрішні форми. Закодовані форми складів порівнюються з шаблонами БЗнШ, які представляють оптимальні структури розформування-формування складів, отримані на попередніх етапах функціонування ІТ ФМГС. Процедура порівняння та відбору шаблонів з БЗнШ може бути ефективно реалізована на основі метрик упорядкування (4). Створення бази БЗнШ дозволяє розглядати задачу РФ як пошук шаблону з можливістю формування, а не як завдання певного перебору.

Розглянемо завдання щодо удосконалення відомих алгоритмів завдань РФ з використанням метрики (4).

Таблиця 1

Розрахунки метрик упорядкування номерів груп составів

| | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1. Вагони | <u>2</u> | <u>4</u> | <u>8</u> | <u>6</u> | <u>2</u> | <u>5</u> | <u>4</u> | <u>3</u> | 3 | 5 | 9 |
| 2. Вар 1 формування | 3 | 4 | 5 | 9 | 6 | 8 | 4 | 9 | 9 | 5 | 3 |
| 3. Вар 2 формування | 3 | 5 | 9 | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>2</u> | <u>6</u> | <u>8</u> | <u>4</u> | <u>2</u> |
| Групи для початкового складу | 5 | 1 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| Скорочені групи початкового складу | 5 | 1 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| Розрахунок (4) для початкового складу | 9 | 2 | 5 | 6 | 5 | 7 | 5 | 7 | 5 | 1 | |
| Групи для Вар 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Скорочені групи для Вар 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Розрахунок (4) для В1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 7 | |
| Групи для Вар 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Скорочені групи для Вар 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Розрахунок (4) для В2 | 0 | 2 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 5 | 2 | |
| Оцінки неупорядкованості | СН(Початковий)= 52, СН(В ₁)= 28 та СН(В ₂)= 24 | | | | | | | | | | |

У таблиці 1 у першому рядку приведено початкову структуру ДНГ, а у рядках 2 та 3 – умовні варіанти нових структур, що утворені за допомогою операцій формування. Вар.1 утворений за рахунок приєднання в хвіст обернених перших трьох груп (відзначено жовтим та жирним шрифтом), а вар. 2 – за рахунок вставки у хвіст оберненої послідовності, яка підкреслена в таблиці. Розраховані метрики упорядкування (4) для варіантів дорівнюють, відповідно СН(В₁)= 28 та СН(В₂)= 24. За показниками СН(В) необхідно розвивати модель процесу за варіантом Вар 2.

В роботі [8] запропоновано процедури пошуку в БЗнШ шаблонів щодо оптимальної реалізації завдань РФ, які «подібні» до поточного вхідного завдання РФ багатогрупного составу. Разом з цим при відборі шаблонів оптимальної реалізації завдань РФ, які найкраще відповідають кодам вхідних послідовностей, можуть використовуватися метрики (4) наступним чином. Далі «подібними» до вхідної неупорядкованої послідовності Seq_{in} вважаються такі шаблони БЗнШ Seq_{sh}, для яких показники (4) є найменшими. Іншим конструктивним показником

близькості зазначених типів послідовностей являється кількість n_{seq} допустимих операцій перетворення, виконання яких переводить послідовності Seq_{In} до послідовності Seq_{Sh} . Для розрахунку таких показників необхідно задати правило, за яким встановлюються відповідності між кодами елементів послідовностей Seq_{In} та Seq_{Sh} . Сутність правила у тому, щоб занумерувати позиції Seq_{In} через позиції шаблону Seq_{Sh} . То ж в занумерованому коді Seq_{In} треба для кожного номера вказувати позиції, на яких знаходиться цей номер у послідовності Seq_{Sh} .

Наприклад, для $Seq_{In} = (5, 2, 4, 1, 2)$ та $Seq_{Sh} = (4, 3, 5, 2, 1)$ код послідовності різниці буде $Seq = (3, 4, 1, 5, 2)$, де «5» знаходиться в позиції «3», код «2» в позиції «4» ін. Показник «подібності» наведених послідовностей це показник (4) для послідовності Seq . Для визначення показника близькості n_{seq} необхідно конструктивно перетворити послідовність Seq у шаблон Seq_{Sh} , використовуючи допустимі операції формування. Нехай допустимими операціями являються операції (5). А БЗнШ містяться шаблони РФ Seq_{Sh} та шаблон $Seq_{Sh1} = (1, 3, 2, 4, 5)$. Побудуємо оптимальні потоки для відповідних процесів МКШ. Процедура P_1 для Seq_{Sh}

Н1Е1(2) : (Z_1 , (1, 5, 2, 3, 4), Z_2 , ());
 Е1Н2(3) : (Z_1 , (1, 5), Z_2 , (2, 3, 4));
 Н1Н2(1) : (Z_1 , (5), Z_2 , (1, 2, 3, 4));
 Н1Е2(1) : (Z_1 , (), Z_2 , (1, 2, 3, 4, 5)); $n_{seq} = 4$.
 Процедура перетворення P_2 для Seq_{Sh1}
 Е1Н2(2) : (Z_1 , (1, 3, 2), Z_2 , (4, 5));
 Н1Е1(1) : (Z_1 , (3, 2, 1), Z_2 , (4, 5));
 Н1Н2(3) : (Z_1 , (), Z_2 , (1, 2, 3, 4, 5)); $n_{seq} = 3$.

Тобто Seq_{In} «ближче» до шаблону Seq_{Sh1} .

Важливо зазначити, що при відомій P_1^* оптимальній процедурі РФ для шаблону Seq_{Sh1} , оптимальна процедура РФ для Seq_{In} утворюється послідовною композицією P_2 та P_1^* . При цьому реалізується головна функція використання БЗнШ для процесів РФ.

З урахуванням запропонованих у статті математичних моделей процесів упорядкування послідовностей замовлень (об'єктів або завдань РФ БГС)), сформованих на основі теорії графів, можна представити загальну структуру удосконаленої інтелектуальної технології у наступному вигляді.

На рис. 1 представлена загальна структура інтелектуальної інформаційної технології РФ БГС, яка враховує запропоновані вище моделі процесів упорядкування у формі орієнтованих графів, а також процедури щодо застосування

моделей баз знань БЗнШ. Елементи структури визначають наступне.

1. Отримання вхідного потоку неупорядкованих структур даних.
2. Формування дійсних номерів груп на основі цілей вхідного потоку даних.



Рис. 1 Структура інтелектуальної інформаційної технології РФ БГС

3. Формування $In(Seq)$ послідовностей для оптимізації відбору подібних.

4. Проведення метричної оцінки неупорядкованості $In(Seq)$ послідовностей, пошук у БЗн подібного потоку з мінімальною «вагою».

5. Представлення в графічному вигляді моделей та задач перетворення з використанням КПМ.

6. На основі створених графів моделюємо процес упорядкування з урахуванням реальних складових процесу упорядкування для системи в якій виконується упорядкування.

7. На основі графу з урахуванням «ваги» і моделі з урахуванням реального процесу упорядкування розраховуємо економічні характеристики процесу упорядкування.

8. Візуалізація процесу упорядкування.

9. Конструювання плану для оператора процесу упорядкування.

10. Виконання коректування Бази знань з урахуванням змін процесу упорядкування для In(Seq) послідовностей.

11. Зберігання нових шаблонів процесів упорядкування у БЗнШ.

Висновки

В статті розроблена нова узагальнена постановка завдання із формування математичних логістичних моделей процесів упорядкування неоднорідних послідовностей замовлень з урахуванням складності операцій формування (УПСО). Вперше отримано нове представлення математичних моделей процесів розформування-формування багатогрупових составів, а також процесів УПСО, як потоків у мережах - моделями критичного шляху та максимальних потоків мінімальної вартості. За рахунок введення спеціалізованих показників міри упорядкування удосконалену інтелектуальну інформаційну технології формування багатогрупових залізничних составів. Для реалізації графічних моделей упорядкування послідовностей елементів запропоновано використання паралельних синхронних алгоритмів планування потоків у мережах.

Подальший розвиток нових постановок завдань УПСО полягає, зокрема, в комбінуванні моделей критичного шляху та максимального потоку мінімальної вартості. Для побудови математичних моделей теорії графів таких процесів упорядкування послідовностей можливо застосовувати технології конструювання, які супроводжуються онтологічними системами, запропонованими у [13].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. V. Bobrovsky, I. Skovron, A. Dorosh, Ye. Demchenko, V. Malashkin and T. bolvanovska. Simulation modeling of the process of disbanding multigroup compositions on a double-sided low power sorting slide. Transport systems and transportation technologies. – 2018 – Vol. 15. – P. 19-26. doi: <https://doi.org/10.15802/tst2018/150194>

2. V.S.S. Yadavalli, C. Balcou. A supply chain management model to optimise the sorting capability of a 'third party logistics' distribution centre // South African Journal of Business Management (48) 2017, p. 77-84. DOI 10.4102/sajbm.v48i1.22.

3. Dmytro Kozachenko, Volodymyr Bobrovskiy, Bogdan Gera, Ihor Skovron, & Alexandra Gorbova. An

optimization method of the multi-group train formation at flat yards // International Journal of Rail Transportation, Taylor & Francis Group, Published online 2020. <https://orcid.org/0000-0002-5612-2715>

4. Shang, Zhigang & Li, Mengmeng. (2016). Feature Selection Based on Grouped Sorting. 451-454. 10.1109/ISCID.2016.1111.

5. Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. Introduction to Algorithms (The MIT Press) 3rd Edition, Kindle Edition. - 2010. – p. 1292 – ISBN 978-0262033848.

6. Holzhauser, M. Maximum flows in generalized processing networks / Sven O. Krumke, Clemens Thielen // Journal of Combinatorial Optimization. – 2016. – Vol. 33. – Iss. 4. – P. 1226–1256. doi. 10.1007/s10878-016-0031-y

7. Maximum and Minimum Cost Flow Finding in Networks in Fuzzy Conditions / A. V. Bozhenyuk, E. M. Gerasimenko, J. Kacprzyk, I. N. Rozenberg // Flows in Networks Under Fuzzy Conditions. – 2016. – Vol. 346. – P. 23–75. doi: 10.1007/978-3-319-41618-2_2

8. V.V. Skalozub, B.B. Bilyy. Structure of intellectual information technology for formation of multi-group train. Transport systems and transportation technologies. – 2019. – Vol. 17. - P. 62 – 69.

9. V.I. Shynkarenko, V.M. Ilman. Formal structures and their application: Monograph – Dnipro National University of Railway Transport. - 2009. – 205 p.

10. A.P. Jalovec. Representation and processing of knowledge in terms of mathematical modeling. Kiev: Scientific thought. – 2011. – 359 p.

11. V.I. Shynkarenko, V.M. Ilman and V.V. Skalozub “Structural models of algorithms in problems of applied programming. I. Formal algorithmic structures”. Cybernetics and Systems Analysis, vol. 45(3), 2009, pp 329-339. doi: org/10.1007/s10559-009-9118-0

12. V.V. Skalozub, L.O. Panik. Parallel synchronous algorithms for analysis and planning of inhomogeneous flows in transport networks. Dnipro. National Metallurgical Academy of Ukraine, System technologies. – 2017. – Vol. 17 (112). – P. 183–197.

13. Skalozub, V. Ontological support formation for constructive-synthesizing modeling of information systems development processes [Text] / V. Skalozub, V. Ilman, V. Shynkarenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. Vol. 5/54 (95) P. 55–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143968>

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Шинкаренком В.І.

Надійшла до редколегії 01.06.2020

Прийнята до друку 15.06.2020

МОДЕЛИ И ПРОЦЕДУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ И УПОРЯДОЧЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗАКАЗОВ

Цель. В статье представлено развитие математических моделей интеллектуальной технологии формирования многогруппных железнодорожных составов, а также выполнен переход к ее обобщениям и формированию математических моделей логистической задачи упорядочения неоднородных последовательностей заказов. **Методика.** В работе предложен подход к моделированию процессов расформирования-формирования многогруппных составов, а также конструктивных процессов упорядочения наборов неоднородных последовательностей заказов средствами теории ориентированных графов. Сформирована усовершенствованная структура интеллектуальной информационной технологии упорядочения последовательностей заказов, которая использует процедуры управления базами знаний. **Результаты.** В статье предложены новые постановки задач упорядочения недетерминированных последовательностей, отличающиеся учетом различной сложности («веса») операций конструирования. Предложен метод формирования моделей процессов упорядочения на основе теории ориентированных и взвешенных графов. Для реализации графических моделей упорядочения последовательностей элементов предложено использование параллельных синхронных алгоритмов планирования потоков в сетях. Разработаны специализированные метрики упорядочения последовательностей, использование которых позволило реализовать задачи упорядочения последовательностей «с весом», а также построить эффективные процедуры поиска шаблонов в базах знаний процессов расформирования-формирования многогруппных составов. **Научная новизна.** Впервые задача по упорядочению неоднородных последовательностей заказов, а также задачи расформирования-формирования многогруппных составов, представленные моделями на графах - моделями критического пути и максимальных потоков минимальной стоимости. Усовершенствована метрика по определению степени упорядочения числовых последовательностей, а также процедуры поиска аналогов в базах знаний. **Практическая значимость.** Представление процессов упорядочения неоднородных последовательностей заказов и задач расформирования-формирования многогруппных составов классическими моделями оптимального планирования на основе теории графов позволяет повысить эффективность, результативность и достоверность соответствующих процессов планирования. Интеллектуальная информационная технология за счет использования средств баз знаний позволит уменьшить расходы на планирование процессов расформирования-формирования многогруппных железнодорожных составов.

Ключевые слова: недетерминированные последовательности; задача упорядочения; стоимость операций; многогруппные железнодорожные составы; процессы расформирования-формирования; интеллектуальные технологии; графические модели; максимальный поток минимальной стоимости; параллельные алгоритмы

V. SKALOZUB, L. PANIK, B. BILYY, M. SKALOZUB

MODELS AND PROCEDURES OF INTELLECTUAL TECHNOLOGY FOR FORMATION MULTI-GROUP TRAINS AND STREAMLINE THE HETEROGENEOUS SEQUENCES OF ORDERS

Purpose. The article presents the mathematical models development of intellectual technology for the multi-group railway trains formation, as well as the transition to its generalization and the mathematical models formation of the organizing inhomogeneous order sequences logistical task. **Method.** The article proposes an approach to modeling the processes of multi-group trains disbandment-formation, as well as constructive processes of ordering sets of heterogeneous order sequences by means of the oriented graphs theory. There has been formed the improved structure of intelligent information technology for ordering order sequences, which uses knowledge base management procedures. **Results.** The article proposes new formulations of problems of ordering nondeterministic sequences, which differ due to the different complexity ("weight") of design operations. There is proposed A method for forming models of ordering processes based on the theory of oriented and weighted graphs. There is proposed To implement graphical models of ordering the sequences of elements, the use of parallel synchronous algorithms for scheduling flows in networks . There have been developed specialized metrics for ordering sequences, the use of which has allowed to implement the task of ordering sequences "by weight", as well as to build effective procedures for finding patterns in the knowledge bases of the processes of disbandment-formation of multi-group trains. **Scientific novelty.** For the first time, the task of ordering heterogeneous order sequences, as well as the task of dismantling and forming multi-group formations are presented by models on graphs - models of critical path and maximum flows of minimum cost. The indicators for determining the degree of ordering of sequences, as well as there have been improved the procedure for searching for analogues in knowledge bases. **Practical significance.** Representation of processes of ordering heterogeneous orders sequences and tasks of multi-group structures dismantling-formation by classical models of optimal planning on the basis of the graph theories allows to increase efficiency, performance and reliability of the corresponding planning processes. Intelligent information technology through the use of knowledge bases will reduce the cost of planning the multi-group railway trains disbandment and formation processes.

Keywords: nondeterministic sequences; ordering tasks; cost of operations; multi-group railway trains; intellectual technologies, graphic models; maximum flow with minimum cost; parallel algorithms