

УДК 656.076.158:334.716

В. В. СКАЛОЗУБ^{1*}, В. М. ГОРЯЧКІН^{2*}, І. А. ТЕРЛЕЦЬКИЙ^{3*}

^{1*} Професор, кафедра «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-52, ел. пошта skalozub.vl.v@gmail.com, Scopus Author ID: 15731663600, ORCID– 0000-0002-1941-4751

^{2*} Доцент, кафедра «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 vgora@ukr.net, ORCID 0000-0002-8952-952X

^{3*} Аспірант, кафедра «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 ig-or.terletskiy.96@gmail.com ORCID – 0000-0001-8324-4673

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПРОЦЕДУРИ УПОРЯДКУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ЗАМОВЛЕНЬ НЕОДНОРІДНИМИ ОПЕРАТОРАМИ ФОРМУВАННЯ

Представлено результати досліджень завдань дискретного оптимального планування широкого кола виробничо-технологічних, логістичних та інших сервісних процесів. В основу методів планування покладено нові інтелектуальні процедури упорядкування (ПУ) послідовностей елементів (замовлень), що реалізуються засобами конструктивного моделювання. Призначення процедур - підвищення ефективності отримання упорядкування замовлень з урахуванням складності операцій формування, а також обмежень на ресурси. В статті розглянуті моделі та методи застосування ПУ, що орієнтовані на процеси розформування-формування (РФ) багатогрупових залізничних составів (БГС) на сортувальних станціях. Формально такі процеси представлені новими моделями упорядкування мульти-послідовностей замовлень з урахуванням складності операцій (УМПСО). При пошуку оптимальних рішень використані моделі асоціативної пам'яті Хеммінга, які дозволяють класифікувати поточні ситуації процесів УМПСО. В них кожному класу визначених станів (з урахуванням неповноти та збурення даних) відповідає один або кілька раціональних операторів із числа можливих. Процедури ПУ зменшують кількість варіантів аналізу та підвищують чисельну ефективність методу оптимізації мульти-послідовностей замовлень.

В статті приведені формалізація багатосарових конструктивних моделей процесів УМПСО, інтелектуальні процедури для методів їх реалізації, виконано формування процедури класифікації операцій на основі моделей нейронних мереж Хеммінга. При цьому також розроблено удосконалену структуру інформаційної технології РФ з використанням інтелектуальних процедур, наведені приклади їх застосування.

Ключові слова: багатогрупові склади, розформування-формування, мульти-послідовності замовлень, конструктивне моделювання, оптимальне упорядкування, інтелектуальні процедури асоціативна пам'ять Хеммінга, інформаційні технології.

Вступ

В практичній діяльності та теоретичних дослідженнях існує широке коло логістичних, виробничо-технологічних і багатьох інших сервісних процесів, а також математичних методів аналізу та планування, в основу яких покладено процедури упорядкування послідовностей елементів, замовлень. В статті представлено результати розробки та дослідження конструктивних (шляхом побудови) процесів оптимального планування, що формально можуть бути зведені до оптимального упорядкування елементів певних множин або недетермінованих послідовностей, для реалізації яких запропоновані нові інтелектуальні процедури пошуку рішень. Призначення таких процедур – оптимальне отримання

визначених структур упорядкування замовлень з урахуванням складності операцій процесів формування та заданих обмежень на ресурси тощо [1, 2, 3-5]. Нами розглянуті нові завдання щодо застосування інтелектуальних процедур упорядкування, які орієнтовані на удосконалення технологій процесів розформування-формування (РФ) багатогрупових залізничних составів (БГС) на сортувальних станціях [3 – 5]. Для вирішення проблем формування БГС були розроблені різноманітні підходи щодо застосування множини критеріїв оптимальності, розробки ефективних методів розрахунку показників і оптимізації процесів РФ [3, 4]. Разом з тим в роботі [6] були відзначені певні обмеження переважної більшості відомих методів РФ. Зокрема в них кожне завдання РФ розглядається як нове – тобто не

враховуються раніше розраховані варіанти. У дослідженні [6] були запропоновані структура і моделі інноваційної інтелектуальної технології РФ, що використовують попередній «досвід» таких процесів. Відзначимо, що завдання РФ складів поїздів можна трактувати як окремий приклад більш широкого завдання упорядкування мульти-послідовності замовлень з урахуванням складності операцій формування, УМПСО [2]. Розробка теоретичних підходів та методів конструктивного моделювання для завдань УМПСО на основі створення інтелектуальних процедур класифікації станів процесів оптимального упорядкування натеper являє важливе та актуальне науково-прикладне завдання.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми

Організація оптимальних процесів на основі процедур упорядкування недетермінованих послідовностей елементів, замовлень, застосовується в багатьох технологіях і системах планування. Така технологія використана і для формування БГС поїздів. Це завдання є одним з найбільш трудомістких етапів процесів переробки потоків вагонів на станціях, що суттєво впливає на терміни доставки та собівартість перевезення вантажів тощо. Можна відзначити наступні методи для завдань РФ: комбінаторний, розподільний, основний та подвійний ступінчасті методи, а також метод рівномірного нарощування [1, 4]. У роботах [1, 5] побудовано функціональну модель процесу формування багатогрупових складів поїздів. Розроблені програмні реалізації цих методів, які враховують комбінаторний характер завдання РФ.

В роботах [2, 4, 6] відзначається що неklasичні завдання, які формально можливо представити у вигляді конструктивного [7, 8] упорядкування послідовностей (також множин) елементів, мають значний теоретичний інтерес, а головне є практично важливими. Вирішення багатьох завдань конструктивного упорядкування суттєво відрізняються від завдань сортування [12], воно також ускладнюється при урахуванні неоднорідності та «ваги» множин операторів формування [2, 12]. У якості інших прикладів технологічних та логістичних процесів, що використовують моделі упорядкування елементів, назвемо вибір функцій класифікації даних за допомогою моделей групового сортування [11], а також завдання щодо управління ланцюгами постачання для сортування замовлень дистрибуційного логістичного центру [10] та ін.

В роботах [2] було уведено узагальнюючу модель процесів РФ, як модель упорядкування мульти-послідовностей замовлень, що враховує складність операцій формування, формалізовану через показник їх «ваги». Змістовно завдання упорядкування «сервісною системою, СерС» мульти-послідовностей замовлень полягає у оптимальному (за встановленими показниками) переформуванні заданим набором операторів певної множини вхідних довільно впорядкованих послідовностей елементів до визначеного числа результуючих, вихідних, упорядкованих послідовностей, які повинні бути в певних зонах обслуговування, ЗО. При цих перетвореннях повинні бути визначені та враховані властивості конкретних наборів операторів формування, значень показників їх складності, технологічні та інші обмеження на умови функціонування тощо. Модель упорядкування мульти-послідовностей замовлень УМПСО дозволяє представити досить широке коло завдань оптимального обслуговування потоків замовлень у вигляді СерС.

Для вирішення завдання формалізації та накопичення знань стосовно оптимальних процесів РФ на конкретних сортувальних станціях в [2, 3 – 5] були створені спеціалізовані моделі, методи і засоби реалізації, що мають відміну від існуючих в переході від одного поточного окремого завдання формування складу (ЗФС) до встановлення зв'язку цього ЗФС з раніше виконаними оптимальними розрахунками. Результати таких розрахунків далі зберігаються в базах даних і базах знань автоматизованої системи формування БГС. Використання такої додаткової інформації забезпечує підвищення ефективності функціонування автоматизованих систем РФ залізничних составів. Одним із сучасних і перспективних напрямів досліджень щодо удосконалення багатьох інформаційних технологій транспортних, в тому числі залізничних, процесів є застосування інтелектуальних процедур аналізу, планування і прогнозування [2, 3 – 5].

Вирішення науково-прикладної проблеми щодо реалізації конструктивного моделювання процесів УМПСО з урахуванням «ваги» технологічних операцій, призводить до необхідності виконати нові змістовні та формальні постановки завдань планування, сформувані моделі відповідних завданням операцій, побудувати метрики для оцінювання та порівняння станів процесів формування, а також вимагає розробити спеціалізовані конструктивні алгоритми реалізації завдань упорядкування мульти-послідовностей «з вагою». В роботі [2] були

запропоновані багат шарові конструктивні структури моделювання та реалізації завдань упорядкування мульти-послідовностей «з вагою», що дозволяють удосконалити інструментарій конструктивного моделювання [7, 8, 9]. При цьому в роботі [7] сформовані засади конструктивно-продукційних моделей (КПМ), у [8] представлено їх застосування для інформаційних середовищ, а в [9] розроблені засади формування онтологічних систем що забезпечують розвиток процесів КПМ. Побудована у [2, 6] інтелектуальні процедури процесів оптимального РФ составів дозволили отримати нову форму реалізації зазначених технологічних технологій.

Відзначається, що розроблені в [2] конструктивні багат шарові моделі процесів упорядкування неоднорідних послідовностей замовлень з урахуванням складності операцій формування являються придатними та ефективними для формалізації та аналізу широкого спектру завдань оптимального планування технологічних, логістичних та інформаційних процесів, а також процесів функціонування виробничих систем, у тому числі залізничного транспорту [9, 13, 14, 15]. Розвитку інтелектуальних технологій присвячена значна кількість наукових праць. Зокрема, в [13] інтелектуальні процедури оптимального планування з використанням генетичних алгоритмів застосовані для автоматичних розрахунків планів формування поїздів, а в [14, 15] досліджені завдання інтелектуального аналізу даних та результати використання моделей і методів інтелектуальних транспортних систем. Для реалізації інтелектуальних засобів технологій транспорту широко застосовуються методи нейронних мереж [16], широкий спектр методів штучного інтелекту [17]. Стосовно розвитку застосування конструктивного моделювання зазначених процесів УМПСО відзначається завдання з підвищення ефективності оптимального планування шляхом створення та використання інтелектуальних процедур пошуку рішень, які досліджені в цій статті.

Мета і завдання дослідження

Розробка та дослідження завдання щодо формування інтелектуальних процедур, призначених для оптимального упорядкування мульти-послідовностей замовлень

неоднорідними операторами формування, натепер являється актуальним науково-прикладним завданням. Процедури орієнтовані в тому числі на удосконалення технологій процесів розформування-формування (РФ) багатогрупових залізничних составів (БГС) [3-6]. Для отримання результатів необхідно виконати формалізацію багат шарових конструктивних моделей процесів УМПСО, розробити процедури класифікації операцій формування з використанням нейронних моделей асоціативної пам'яті Хеммінга, удосконалити структуру інформаційної технології РФ, а також розрахувати приклади застосування інтелектуальних процедур оптимізації завдань УМПСО.

Матеріали та методи дослідження

Представимо ключове завдання дослідження щодо формування багат шарових конструктивних моделей процесів УМПСО. Відповідно [2] представимо загальну структуру завдань УПСО у вигляді

$$(S \rightarrow Q) : \{S_p \rightarrow Q_q\}; \quad (1)$$

$$p, q = 1, 2, \dots, d$$

де p – число вхідних *in-set*, q – число вихідних *out-seq* потоків завдання упорядкування МП (p, q) , а d – граничне значення. Для структур моделей потоків $S_1 \rightarrow Q_1, S_m \rightarrow Q_1, S_1 \rightarrow Q_r$ тощо, будемо позначати: S_1Q_1, S_mQ_1, S_1Q_r . Послідовності S_p і Q_q містять неподільні складові, елементи, $e_i(p), e_j(q)$ (замовлення, операції ін.). Ці елементи відрізняють за номерами i_p (вхідні неупорядковані) та i_q (вихідні упорядковані), що також мають індекси призначення відповідних замовлень *pos-ind* n_q для i_q . Прийнято що між елементами *out-seq* потоків $e_k(q)$ та $e_m(q)$ виконується умова порядку за індексами *pos-ind* n_q : $n_r(q) \leq n_m(q)$, if $r < m$ при $(r < m)$, де через r и m позначені номери елементів *out-seq* Q_q .

У багат шаровій конструктивній моделі MLCPM упорядкування послідовностей (1) використовуються часткові моделі $CPM(u)$, що в свою чергу є конструктивними. В кожній з $CPM(u)$ процеси конструювання порядків виконуються та представляються через параметри

«зон обслуговування» (ЗО) $Z_e, e = 1, 2, \dots, m_Z$. ЗО при відображенні процесів конструктивного моделювання та побудови рішень є формальними структурами, призначеними для формування *out-seq* із первинних *in-set*. За рахунок аналізу вмісту ЗО можливо встановити всі властивості процесів конструювання рішення. Також за ними визначаються набори можливих та раціональних на поточному етапі операторів (ОПУ), призначених для перетворення ЗО з метою упорядкування (1). До цих множин операторів формування відносять такі, застосування яких збільшує ступінь упорядкованості МП при виконанні системи обмежень моделі формування. Також за даними ЗО виконується перевірка умови закінчення рішення завдань УМПСО.

Відзначимо суттєву відмінність та новизну пропонування у даній статті інтелектуальних процедур оптимального упорядкування УМПСО. В раніше пропонуваннях [2] методах реалізації завдань УМПСО вибір оптимального на етапі оператора із числа ОПУ виконувався за рахунок *повного перебору* цієї множини, а також формування дерева можливих станів. При цьому для вибору оптимального на етапі оператора використовувалася показник порядку, наведений у статті нижче. В цій статті для вибору оператора перетворення із числа ОПУ використовуються інтелектуальна процедура класифікації (КОПУ) з використанням моделі асоціативної пам'яті Хеммінга [16, 18], яка дозволяє визначати «класи» поточних ситуацій процесу упорядкування УМПСО. При цьому кожному класу станів (з урахуванням неповноти та збурення даних) відповідає один або кілька раціональних операторів із числа ОПУ. За рахунок таких інтелектуальних процедур класифікації зменшується число варіантів аналізу та підвищується чисельна ефективність процедур оптимального формування УМПСО.

Процес розв'язання задачі УМПСО формується за певними етапами [2], а також представляються у вигляді мережі. Структура і всі показники процесу конструювання зберігаються у вигляді моделі орієнтованого графа розміток (ГР). Вершини графа розміток містять поточні дані всіх зон ЗО, а також значення їх показників складності та впорядкованості. Граф розміток відбиває порядок утворення «вузлів-станів», отриманий під час виконання етапів процесу оптимального конструювання. Він має структуру дерева, у випадку – графа, з вузлами що зберігають результати виконання операцій із перетворення МП (1). Кожна з вершин ГР має оцінку складності (вага). Ці оцінки питомі, у

загальному випадку залежить від кількості елементів, що використовувалися у операціях конструювання *out-seq*. На різних місцях i_p однієї послідовності S_p можуть бути елементи з однаковими індексами *pos-ind*. У багатьох послідовностей Q_q може бути елементів з однаковим призначенням. У зонах обслуговування $Z_e, e = 1, 2, \dots, m_Z$ можуть розміщуватися S_p, Q_q , а також їх модифікації, отримані при застосуванні операцій перетворення ЗО. Вихідні послідовності Q_q можуть знаходитися в заданих або будь-яких зонах Z_e . Для всіх зон Z_e $Z^{(k)}$ вважаються відомими процедури доступу до елементів ЗО $D^e = \{D^e_j(m)\}$, в яких можна вказати певну групу, послідовність (m) елементів ЗО, якими можна оперувати. У загальному випадку можливість використання процедур доступу до ЗО залежить від числа (m) елементів у групі. Серед D^e можуть бути процедури паралельного доступу $D^e_j(m)$, які забезпечують незалежний доступ до окремих послідовностей елементів S_p, Q_q , (наприклад, з початку і кінця Z_e). Для ЗО задані безлічі допустимих операцій перетворення $F^e = \{F^e_z\}$, що визначають правила формування структури та вмісту зон Z_e при використанні операцій F^e , а також показники складності (ваги) операцій перетворення $W^e = \{W^e_z\}$. Виконання процедур $F^e = \{F^e_z\}$ для зон ЗО Z_e реалізують процеси виконавці $A(Z_e)$ – число яких $n_A \Rightarrow 1$. Ступінь, міру, невпорядкованість ЗО Z_e $Z^{(k)}$, а також всієї мульти-послідовності (1), характеризує величина $R(Z)$, яка для повного порядку дорівнює $R(Z) = 0$.

Змістовно формалізація завдання УМПСО полягає в тому, щоб встановити вид, аргументи та послідовність виконання операторів F^e для ЗО Z_e так, щоб упорядкувати, отримати $R(Z) = 0$ при мінімальних загальних витратах на конструювання рішення, з урахуванням $W^e = \{W^e_z\}$ складності операцій конструювання $F^e = \{F^e_z\}$ та ресурсних обмежень. Показник складності завдання УМПСО $w^e = \{w^e_z\}$ є оцінкою витрат часу, коштів, фінансових та інших ресурсів. У загальному випадку це векторна величина $W(Z) = (W_1(Z), W_2(Z), \dots, W_p(Z))$.

Процес УМПСО реалізується за етапами, що з виконанням (одним або декількома виконавцями $A(Z_e)$) відібраних і незалежних між собою операцій з F^e . Одночасність дій F^e кількох виконавців, $n_A > 1$, дає паралелізм у формуванні рішення $R(Z) = 0$. При конструюванні послідовностей процедур F^e також потрібно врахувати ресурсні організації з алгоритмами $A(Z_e)$, спільно з обмеженнями на область допустимих значень величин, наприклад $W(Z), D_W = \{W_r(Z) \leq W_{r*}\}$.

Позначимо як $\pi = \{\pi_i(F^e)\}$ множину всіх послідовностей $\pi_i(F^e)$ допустимих операцій F^e на етапах процесу конструювання рішення. Завдання оптимального впорядкування УМПСО (1) ось у чому. У наборі $\pi = \{\pi_i(F^e)\}$ необхідно знайти таку послідовність $\pi_{r*}(F^e)$, для якої виконується

$$W(Z(\pi_{r*}(F^e))) = \min(W(Z(\pi_i(F^e)))) \quad (2)$$

за умови $D_W = \{W(Z) \leq W_*\}$, де W_* заданий вектор значень показників.

Для ефективної реалізації різноманітних завдань УПСО відповідних моделі (1) в статтях [2] запропоновано конструктивні багатопланові моделі (СРМ). На практиці представити процеси (1) єдиною структурою СРМ не вдається, також це може приводити до значного ускладнення завдань конструювання такої моделі. Для спрощення опису СРМ в цілому виконується декомпозиція, коли виділяють відносно самостійні підзадачі, представлені також у формі конструктивних СРМ(u). То ж багатопланові структури МЛСРМ містять набори окремих конструктивних моделей «шарів», які описуються і виконуються на основі параметрів $Z_e, e = 1, 2, \dots, m_z$ зон обслуговування МП, а також за даними графа розміток G_{PC} . Розв'язання задачі УМПСО реалізується за рахунок виконання часткових відповідно до заданої структури управління конструюванням моделей СРМ(u).

Вкажемо основні складові МЛСРМ, стосовно задачі розформування-формування багатопланових складів поїздів [1, 3, 4]: L_1 - шар оцінювання-перетворення дачах. формування внутрішніх моделей конструювання; L_2 - модель оцінювання станів процесу РС, відбір можливих операцій чи процедур перетворення G_{PC} ; L_3 -

генерація наступних рівнів локальних вузлів моделі G_{PC} ; L_4 - формування моделей оцінки локальних або глобальних властивостей РС; L_5 - процедури оцінки параметрів моделей; L_6 - оптимізація процесу пошуку рішень. Окремі шари також можуть поєднувати кілька із зазначених категорій дій та операцій [2].

Розглянемо завдання щодо застосування інтелектуальних процедур для удосконалення методів реалізації УМПСО, на прикладі завдань РФ. В дослідженні [6] запропоновані структура та моделі інноваційної інтелектуальної технології формування БГС, відмінність якої визначається формуванням та використанням та баз знань [17] шаблонів (БЗнШ) процесів формування БГС. У базах зберігаються оптимальні для процесів РФ моделі структури складів поїздів, а також всі необхідні для відтворення процесів характеристики. Призначення БЗнШ у накопиченні та подальшому використанні для РФ всього попереднього «досвіду» таких процесів. При цьому окреме завдання ЗФС реалізується за послідовністю наступних процедур: - пошук у БЗнШ найбільш «схожого» (відповідно до певної метрики) на поточне завдання ЗФС, представлене шаблоном; - використання цього варіанту в якості основи для до-формування ЗФС на основі швидких алгоритмів розрахунку планів, які використовують також інтелектуальні процедури класифікації КОПУ, представлені в статі далі; - видача результату розрахунків поточної ЗФС; - поповнення БЗнШ оптимальним шаблоном, розрахованим за повним перебором ЗФС. Відзначається що створення бази БЗнШ дозволило розглядати завдання РФ як пошук шаблону з можливістю до-формування, на відміну від завдань реалізації повного перебору. Тому для реалізації завдань ЗФС необхідно реалізувати додаткові функціональні моделі: - уніфікація та інтерпретація вхідних даних (УІ); - пошук раціонального шаблону (ПШ) в БЗнШ; - розрахунок схеми формування ЗФС за знайденим шаблоном (ЗФСШ) з урахуванням потужності сортувальної станції; - модуль реалізації алгоритмів повного перебору (МАП) варіантів для завдань РФ [3, 5].

При створення БЗнШ застосовуються алгоритми, призначені для зменшення кількості окремих груп вагонів у складі, а також для узагальнення моделей ЗФС. Процес РФ складу представляє перестановки вагонів за зростанням відповідно до їх дійсних номерів груп (ДНГ). За умов щодо можливості об'єднати вагони в одну групу, яка при маневрових роботах переміщується як одне ціле, нумерація груп називається умовної

[1, 4, 6] чи логічної (ЛНГ). ЛНГ не завжди є оптимальною [Ск-Б], тому було запропоновано інтелектуальну технологію створення ЛНГ, яка за рахунок зіставлення та навчання виключає не раціональні варіанти ЛНГ. Були введені скорочені моделі складів поїздів (СЛНГ), які спрощують пошук шаблонів у БЗнШ, а також дозволяють застосовувати шаблони для складів з неоднаковими ДНГ та різною кількістю вагонів у ЛНГ. Модуль УІ виконує уніфікацію та інтерпретація вхідних даних про склади у термінах ЛНГ та СЛН.

Для розв'язання завдань УМПСО (1) з урахуванням складності операцій в [6] використана міра $R(Z)$, яка визначає «невпорядкованість» вмісту зон ЗО $Z^{(k)}$. Показник $R(Z)$ було введено саме для завдань УМПСО як характеристику процесу конструювання рішення у цілому (РС). Для «вимірювання» ступеня впорядкування цілих числових послідовностей за зростанням, коли $\{(n_i < n_j, i < j), i = 1, 2, \dots, n\}$, застосовується показник міри вигляду

$$\begin{aligned} mes(L) &= M_L(L) = \sum_{k=1}^n V_k; \\ V_k &= \sum_{i=1}^{k-1} p_i; \\ p_i &= \{0; n_i < n_k | n_i - n_k |; else\}. \end{aligned} \quad (3)$$

В (3) підраховується сума «зайвих елементів» ліворуч від кожного компоненту числової послідовності. Для «вимірювання» величини протилежної «невпорядкованості» зон ЗО $Z^{(k)}$, коли $(n_i > n_j, i < j)$, підраховують суму подібну (3) «зайвих елементів» праворуч від позиції « k ». Наприклад, $mes(3, 2, 7, 6, 5) = 5$, а $mes(4, 2, 9, 7, 5) = 12$. Величина (3) дозволяє ефективно визначати впорядкування для вимог спадання та зростання номерів послідовностей. Ця характеристика впорядкованості $R(Z)$ разом з показниками складності операцій [6] створює нові можливості моделювання процесів задач УМПСО. А саме, стає можливим кількісно оцінювати сам процес конструювання, визначати найкращі варіанти перетворення ЗО, не виконуючи повний перебір операторів формування з ОПУ. Зрозуміло, що для інших завдань конструктивного моделювання необхідно застосовувати відмінні від (3) характеристики процесів РС.

Представимо завдання та методи формування процедур класифікації операцій перетворення послідовностей замовлень на основі

моделей нейронних мереж. Конструювання оптимальних послідовностей операцій формування при реалізації завдань УМПСО, також і РФ составів, основане на можливості вибору відповідно (2), (3) варіантів перетворень вмісту зон ЗО $Z^{(k)}$. Такий вибір поточного варіанту оперування із числа відібраних до множини ОПУ будемо формально представляти як процедуру класифікації в умовах неповноти та збурення даних. Для реалізації таких завдань класифікації використаємо моделі асоціативної пам'яті Хеммінга (АПХ) [16, 18].

Зміст і роль асоціативної пам'яті (АП) в таких процедурах визначають наступне. В багатьох випадках функціонування керуючої системи зводять до реалізації деяких «шаблонів дій» на основі отриманих та інтерпретованих оцінок параметрів «поточного стану», визначеного для контрольованого процесу або системи. Можуть бути різні види процедур функціонування керуваних шаблонами продукційних систем (ПС), які розрізняються способами оцінки поточного стану, відбору шаблонів, змістом і засобами реалізації керуваних дій тощо [17]. Наприклад, «дія» може вказувати певний інший шаблон або функцію для виконання. Тобто процес управління у ПС представляє реалізацію етапів типу

а) $\{< \text{поточний стан} > \rightarrow < \text{розпізнаний шаблон} > \rightarrow < \text{дії} >\}$,
 або передбачає виконання операцій узагальнення або ж прогнозування керуваних впливів:
 б) $\{< \text{стан} > \rightarrow < \text{шаблон} > \rightarrow < \text{прогноз} > \rightarrow < \text{дія} >\}$.

Для ПС виду (б) шаблони являють «набір екземплярів» значень параметрів станів і раціональних значень керуваних параметрів тощо.

В штучних нейронних мережах (НМ) моделей асоціативної пам'яті «навчання», обчислення вагових коефіцієнти елементів моделі, синапсів, виконується тільки один раз перед початком функціонування мережі [16, 18], що реалізується на основі інформації про досліджувані дані. Пред'явлення апріорної інформації вважається за допомогу «вчителя». НМ моделей АП «запам'ятовує» зразки до того, як на її вхід надходять реальні дані, і не може змінювати свою «поведінку». Серед НМ із подібною логікою роботи найбільш відомі мережі Хопфілда і Хеммінга, що використовуються для організації АП. Завдання, яке вирішується даною мережею, визначається в такий спосіб. Відомий деякий набір двійкових сигналів (зображень, різних даних, що описують об'єкти або характеристики процесів), які вважають зразковими. НМ має з достатнього неідеального сигналу, поданого на її вхід,

виділити («згадати» по частковій інформації) відповідний зразок (якщо такий є) або "дати висновок" про не відповідність даних жодному зразку. Формально – АП забезпечує класифікацію множин сигналів.

Любий сигнал може бути описаний вектором $\mathbf{X} = \{x_i; i=0\dots n-1\}$, n – число нейронів вихідних векторів НМ. Кожний елемент x_i дорівнює або $+1$, або -1 . Позначимо вектор, що представляє k -ий зразок, через \mathbf{X}^k , а його компоненти, відповідно, $-x_i^k$, $k=0\dots m-1$, m – число зразків. Коли мережа АП розпізнає (або "згадає") будь-який зразок на основі пред'явлених їй даних, її виходи будуть містити саме його (мережа Хопфілда), тобто $\mathbf{Y} = \mathbf{X}^k$, де \mathbf{Y} – вектор вихідних значень мережі: $\mathbf{Y} = \{y_i; i=0, \dots, n-1\}$, або код зразку « k » (мережа Хеммінга). Модель НМ Хеммінга застосовують, якщо для управління досить отримувати номер зразка (класу вхідних даних). Мережа АПХ характеризується меншими витратами на пам'ять і обсягом обчислень. На рис. 1 наведено графічну схему моделі Хеммінга при кодуванні $\{-1, +1\}$ векторів параметрів $\mathbf{X} = \{x_i; i=0\dots n-1\}$ класів ситуацій процесу, m – число зразків. На рисунку позначено ($0 < \varepsilon < 1/m$).

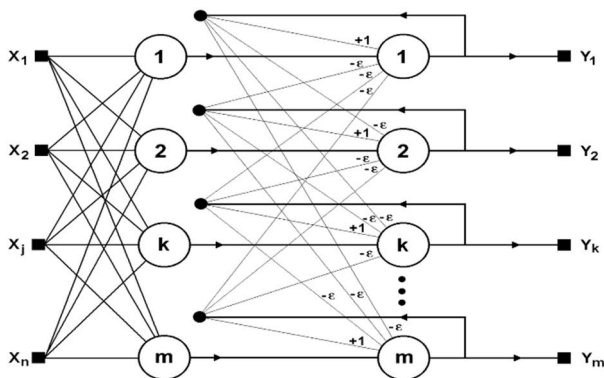


Рис.1 Структурна схема мережі Хеммінга

Мережа складається з двох шарів штучних нейронів. Перший і другий шари мають по m нейронів, де m - число зразків, які слід враховувати при виборі управління. Нейрони першого шару мають по n синапсів, з'єднаних з входами мережі. Нейрони другого шару пов'язані між собою інгібіторними (із знаком мінус, зворотними) синаптичними зв'язками. Єдиний синапс з позитивним зворотним зв'язком для кожного нейрона з'єднаний з його ж аксоном, виходом мережі. Ідея роботи мережі полягає в знаходженні відстані Хеммінга від тестованого образу до всіх зразків. Мережа повинна вибрати зразок з мінімальною відстанню Хеммінга до невідомого вхідного сигналу, в результаті чого буде активізований тільки один вихід мережі, що відповідає цьому зразку. Алгоритм

функціонування мережі Хеммінга наступний.

На стадії ініціалізації ваговим коефіцієнтам першого шару і порогу активаційної функції привласнюються значення за [18]: $W_{ij} = X_{ij}/2$; $K: \{k_{ij} = -\varepsilon; k_{ii} = 1\}$.

1. На входи мережі подається невідомий вектор $\mathbf{X} = \{x_i; i=0\dots n-1\}$, виходячи з якого розраховуються стани нейронів першого шару (верхній індекс у дужках вказує номер шару):

$$y_j^{(1)} = s_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} x_i + T_j, \quad j = 0\dots m-1 \quad (4)$$

Після цього отриманими значеннями ініціалізують значення аксонів другого шару

$$y_j^{(2)} = y_j^{(1)}, \quad j = 0\dots m-1$$

2. Обчислити нові стани нейронів другого шару:

$$s_j^{(2)}(p+1) = y_j(p) - \varepsilon \sum_{k=0}^{m-1} y_k^{(2)}(p), \quad (5)$$

$$k \neq j, \quad j = 0\dots m-1$$

і значення їх аксонів

$$y_j^{(2)}(p+1) = f[s_j^{(2)}(p+1)], \quad j = 0\dots m-1 \quad (6)$$

Активаційна функція f має вигляд порога (рис. 2 б), причому величина F повинна бути досить великою, щоб будь-які можливі значення аргументу не призводили до «насичення», тобто

$$f(S) = \{0, S <= 0; S, 0 < S <= T; T, S > T\}.$$

3. Перевірити, чи змінилися виходи нейронів другого шару за останню ітерацію. Якщо так - перейди до кроку 2. Інакше - кінець. В результаті залишиться тільки один вихідний клас, для якого виконується умова $Y_k > \varepsilon_{\max}$, при $\varepsilon_{\max} > 0.1$. При виконанні цієї умови для кількох Y_k компроміс між класами вирішується на основі додаткових характеристик процесу або правил вибору.

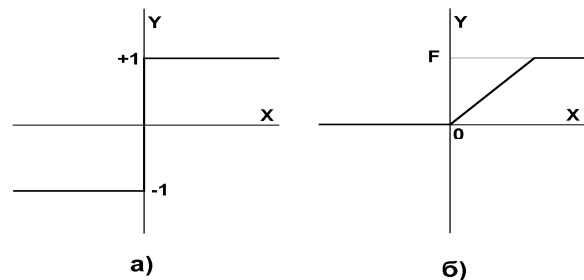


Рис. 2 Активаційні функції мережі Хопфілда (а) та Хеммінга (б)

Мережі Хопфілда, Хеммінга та інші дозволяють просто і ефективно вирішити задачу відтворення образів по неповній та спотвореній інформації, виконувати класифікацію таких даних, дозволяють проводити їх узагальнення. За допомогою мережі Хеммінга також можлива класифікація за критерієм максимальної правдоподібності [2, 4]. Зазначені НМ дозволяють одночасно вирішувати клас завдань формування варіантів рішень на основі методів інтелектуального управління.

Застосування такого підходу до моделювання та реалізації завдань класифікації вимагає побудови формальної структури шаблонів, призначених для опису етапів процесу УМПСО, використовуючи дані зон $Z^{(k)}$. Для кожної категорії операцій, або окремої операції множини ОПУ, необхідно створити один (кілька тотожних за кодом визначеної операції) шаблон, форма якого відповідає моделі АПХ, а зміст

шаблону передає сутність поточного стану процесу УМПСО (кодує клас станів що відповідають операції з набору ОПУ). В таблиці 1 приведені приклади застосування мережі АПХ рис. 1 для завдань вибору операцій формування составів на певному етапі процесу РФ. При цьому стан процесу описувався змінними (X_1, X_2, \dots, X_6), множини операцій ОПУ визначали шаблони (Шабл К1, Шабл К2, Шабл К3). В матриці K параметр дорівнював $\varepsilon=0.25$, а класи операцій (Оп) визначалися моделлю за 3-4 ітерації (5) – (6). Приклад X_{in2} показує, що при подачі на вхід мережі АПХ безпосередньо шаблону Шаб К1 відразу вірно визначається його операція Кл Оп1. При подачі збуреного вектору X_{in1} була також вірно визначена операція Кл Оп2. При подачі неповної (X_{3in}) або збуреної (X_{in4}) вхідної інформації модель АПХ вірно визначила необхідний клас операції перетворення Кл Оп3..

Таблиця 1

Класифікації кодів станів процесу упорядкування

Стан/Клас	Шабл К1	Шабл К2	Шабл К3	X_{in1}	X_{in2}	X_{3in}	X_{in4}
X1	1	-1	1	-1	1	1	1
X2	1	1	-1	-1	1	-1	-1
X3	-1	-1	-1	1	-1	-1	1
X4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
X5	1	1	1	1	1	1	1
X6	1	1	-1	1	1	1	1
Кл. опер. (Хем. out)	Оп1	Оп2	Оп3	Кл Оп2	Кл Оп1	Кл Оп3	Кл Оп3

Формування шаблонів або класів поточних станів процесів РФ відповідно наведеним вимогам до моделей мережі Хеммінга забезпечує можливість ефективно оптимізації процесів типу УМПСО з використанням інтелектуальних процедур класифікації АП. Визначимо моделі для правил формування шаблонів класифікації станів процесів РФ. Для цього приведемо приклад структури складу поїзда із кількох відцепів та її відображення у форматі вхідного для АПХ коду поточного стану процесу РФ. Нехай на формування поступає состав із відцепів (3254176), які закодовані від 1 до 7, в залежності від коду станцій призначення. Відцепи містять від одного до певного числа вагонів одного узагальненого призначення (їх порядок не враховується при формуванні). Для кодування стану процесу РФ необхідно враховувати число та типи операцій формування, «перетворення» структури составу ОПУ, а також кількість «зон обслуговування»

зо $Z^{(k)}$, де можуть розміщуватися проміжні частини составу в процесі упорядкування за призначеннями. В роботі [2] були встановлені правила розбиття (групування) неупорядкованих послідовностей кодів призначення, які дозволяють виділити групи відцепів (номерів станцій призначення) що повинні оброблятися операціями формування одночасно, тобто являються атомарними відносно операцій ОПУ. Змістовно ці правила указують, що границі атомарних груп відцепів визначаються розривом у послідовності номерів призначення вагонів відцепів (за зростанням або зменшенням). В подальшому у схемах структури составу будемо розділяти атомарні групи похилими лініями. Тоді для наведеного прикладу отримують таке атомарне представлення (32/54/1/76).

Метою класифікації поточного стану процесу РФ у зо $Z^{(k)}$ являється визначення «найкращої» операції з множини ОПУ, яку

необхідно виконати на цьому кроці процесу, встановити клас операції та її складові, об'єкти дії, операнди. В подальшому ці елементи визначають протокол РФ.

Щоби визначити операнди операцій із частинами складів (або вмісту зон ЗО $Z^{(k)}$) будемо указувати початковий та кінцевий коди у атомарних групах. Так для коду складу (32/54/1/76) маємо такі операнди ((First1=3, Last1=2);(F2=5, L2=4) ;(F3=1, L3=1);(F4=7, L4=6)), або спрощено ((3, 2);(5, 4); (1, 1);(7,6)). Також операндами

$$\begin{aligned} \text{Оп1: } G1 \text{ end } H1 &= H1 * G1 = ((f_2, l_2); (f_1, l_1)); \text{ Оп2: } 1G \text{ end } H1 = H1 * 1G = ((f_2, l_2); (l_1, f_1)); \\ \text{Оп3: } 1G \text{ h } H1 &= 1G * H1 = ((l_1, f_1); (f_2, l_2)); \text{ Оп4: } 1H \text{ end } G1 = G1 * 1H = ((f_1, l_1); (l_2, f_2)); \quad (7) \\ \text{Оп5: } H1 \text{ end } G1 &= G1 * H1 = ((f_1, l_1) (f_2, l_2)); \text{ Оп6: } G1 \text{ end } 1H = H1 * 1G = ((l_2, f_2); (f_1, l_1)); \\ \text{Оп7: } 1G \text{ end } 1H &= 1H * 1G = ((l_2, f_2); (l_1, f_1)); \text{ Оп8: } 1H \text{ end } 1G = G1 * 1H = ((l_1, f_1); (l_2, f_2)). \end{aligned}$$

Для наведеної структури процесу РФ (32/54/1/76) при ЗО $Z^{(k)}$ множина операцій формування може бути такою самою як (7) при замінах параметрів схеми ((f₁, l₁);(f₂, l₂)) конкретними номерами атомарних груп. Операції типу (7) виконуються з кінцевими послідовностями атомарних груп, а у ЗО $Z^{(k)}$ знаходяться такі саме послідовності. Наприклад, Оп2: ((1, 76);(45, 23)) та Оп3: ((2, 3);(54/1, 76)).

При формуванні шаблонів класифікації структури процесу РФ щодо вибору та застосування операцій (7) в моделях АПХ були встановлені наступні вимоги до кодування поточних станів ЗО $Z^{(k)}$. По-перше, необхідність відображення порядку упорядкування у атомарних групах: (+1) при зростанні або постійних номерах кодів призначення, (-1) при їх зменшенні. Цю інформацію містить вектор В1. По-друге, необхідність відображення взаємних зв'язків між сусідніми атомарними групами (АГ). Для кодування цих властивостей було введено правило визначення послідовності кодів щодо зв'язків між АГ для поточних станів – проти часової стрілки, а при кодуванні останньої АГ рахуємо що вона передує першій. Для АГ коди зв'язків визначаються правилами

$$\begin{aligned} (-1) \text{ при } L_k > F_{k+1}; \\ (+1) \text{ при } L_k \leq F_{k+1}, \quad (8) \end{aligned}$$

де L_k номер останнього коду призначення у поточній АГ, а F_{k+1} номер першого коду призначення у наступній за правилом обходу групі АГ. Інформацію про зв'язки між АГ містить вектор В2. Відповідно наведеним правилам для моделі АПХ буде наступне кодування складу

ОПУ можуть бути послідовності з кількох груп, наприклад ((F1=3, L2=4); (F3=1, L4=6)) та подібне. Виходячи з особливостей операцій ОПУ РФ залізничних складів вважається що в кожній зоні $Z^{(k)}$ можливо виділити одну або дві частини, які складаються із атомарних груп, що будемо представляти як (G1=(f₁, l₁); H1=(f₂, l₂)). При цьому допустимими є такі операції для однієї зони ЗО з атомарними групами типу ((f₁, l₁);(f₂, l₂))

(32/54/1/76) за АГ

$$B1 = (-1, -1, +1, -1), \quad B2 = (+1, -1, +1, -1).$$

У векторі В1 код третьої АГ (1) визначено як (+1). Вектори В1 та В2 кодують інформацію про поточний стан процесів РФ для реалізації завдань класифікації операцій (7) моделями АПХ. На основі використання кодування станів РФ у форматах В1 і В2 реалізовані інтелектуальні процедури оптимального упорядкування послідовностей УМПСО.

Операції (7) записані для однієї зони обслуговування Z_1 . Якщо такі операції виконуються для кількох зон, тоді в операціях перед початковими та кінцевими кодами атомарних груп записують номери відповідних зон ЗО. Наприклад, операція Оп1: G1 end H1 = H1 * G1 = ((f₂, l₂); (f₁, l₁)) для однієї зони записується у вигляді Оп1(Z): G1(1) end H1(2) = (2(f₂, l₂); 1(f₁, l₁)), якщо групи операндів початку вмісту ЗО Z_1 переміщуються у кінець зони ЗО Z_2 . Таким же чином виконується зміна формату всіх операцій (7).

Завдання щодо кодування шаблонів при описанні поточного стану процесів РФ при кількох ЗО, тобто формування векторів (В1, В2) кодування поточних станів процесу РФ, вирішується таким чином. Позначимо як С1, С2, ... послідовності кодів атомарних груп, які знаходяться у зонах ЗО Z_1, Z_2, \dots, Z_k , відповідно. З них формуються К! варіантів перестановок послідовностей кодів атомарних груп АГ, наприклад, $C=C1 * C2 * C3, C=C1 * C3 * C2, C=C2 * C1 * C3$ тощо при К=3. Для кожної утвореної послідовності розраховується загальний показник $R(Z)$ міри неупорядкування (3), за оцінками якого визначається послідовність С з найменшим $R^*(Z_C)=\min$

$R(Z_C)$. Для такої послідовності C^* і формуються вектори кодів (+1/-1) для $B1(C^*)$ та $B2(C^*)$. При цьому окремо для кожної атомарної групи АГ визначаються поточні признаки кодів (+1/-1). Отримані вектори представлення поточного стану процесу РФ $B1(C^*)$ та $B2(C^*)$ використовують для вибору класу операції перетворення ЗО засобами моделі нейронної мережі АПХ. Також за рахунок послідовностей типу (C^*) на етапі навчання моделі АПХ формується база правил класифікації станів, призначених для вибору типу оптимальної операції перетворення $Z^{(k)}$. При цьому для варіанту структур з послідовностями C , а також з кодами станів ($B1, B2$) застосовуються всі операції типу (7), а також передбачені інші. Реалізація кожної такої операції дає нову структуру $Z^{(k)}$, для якої розраховуються міри порядку (3). Операція з $\min R(Z_C)$ і визначає раціональний клас моделі АПХ, рис. 1.

Приведемо приклад кодування станів процесів РФ та визначення оптимальної операції типу (7) для деякого проміжного етапу упорядкування послідовності (32/54/1/76). А саме, зона Z_1 містить (54/1/23), а зона Z_2 – (67). Тоді $C=(54/1/23/67)$ або $=(67/54/1/23)$. Перша послідовність АГ має менше значення міри (3), тому за нею проводиться кодування векторів ($B1, B2$). При цьому визначається $B1= (-1, +1, +1, +1)$, а $B2=(-1, +1, +1, -1)$. Для цього вхідного набору моделі АПХ оптимальною є операція класу Оп3 (7), за якою утворюються такі стани ЗО: Z_1 містить (1/23), а зона Z_2 – (45/67). Використання інтелектуальної процедури АПХ в загальному випадку дозволить визначити раціональну операцію (7) і в тих моделях $Z^{(k)}$, які відрізняються за кодами від ($B1, B2$), що дозволяє уникнути процедур повного перебору.

На рис. 3 представлена схема процедури реалізації процесів РФ на основі моделі АПХ, яка містить такі блоки. Блок $B1$ In, отримання початкового завдання; $B2 \{Z_k\}$, визначення початкового розподілу у ЗО; $B3 \{AG\}$ - формування атомарних груп АГ, $R_0(Z)$, початкове значення показника; $B4$ Cycle (m!) утворення можливих структур процесу РФ; $B5$ $R(Z)$ – розрахунок показника (3) для $Z^{(k)}$ $Z^{(k)}$; $B6$ $R(Z) = 0$ перевірка умови закінчення, при виконанні (+) то $B13$; $B7$ $R(Z) > R_0(Z)$ + то $B5$; $B8 \{OP\}$ відбір операцій перетворення ЗО, формування кодів ($B1, B2$); $B9$ Proc APX(Z), виконання процедура АПХ, визначення класу оптимальної операції; $B10$ Cor $\{Z_k\}$ корегування вмісту ЗО на основі визначеної операції, розрахунок нового показника упорядкування $R_0(Z)$; $B11$ Param $\{Z_k\}$ - розрахунки поточних параметрів процесу РФ у цілому; $B12$

то $B3$ перехід до нового етапу; $B13$ Plan – розрахунки загальних показників плану РФ; $B14$ Param Plan – формування звітів та оперативних планів диспетчеризації, end.

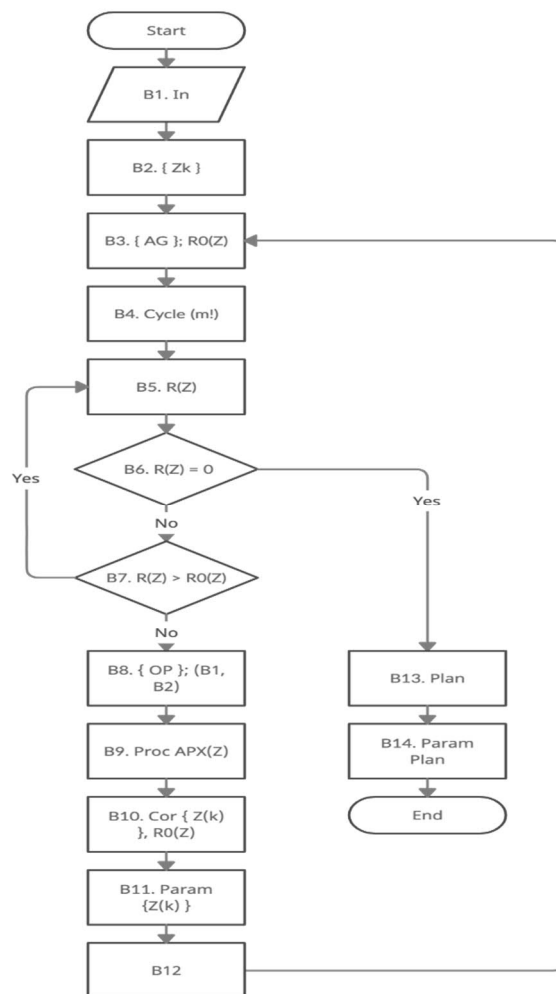


Рис. 3. Структурна схема реалізації процесів УМПСО з використанням моделі АПХ

Наведені вище результати стосовно запровадження інтелектуальних процедур класифікації станів процесу оптимального конструктивного моделювання завдань УМПСО дають підстави для створення базової структури інформаційної технології (ІТ) реалізації завдань РФ БГС, рис. 4, яка розвиває структуру [6]. При цьому окремі блоки рисунку визначають комплексні завдання, моделі чи підсистеми, а також результати функціонування інформаційної технології РФ. Тут стрілками визначається послідовність виконання завдань з обробки вхідного потоку БГС. Основу ІТ складає адаптивна база знань шаблонів (БЗНШ) розформування-формування складів поїздів. За її допомогою виконуються інтелектуальні функції пошуку типових раціональних рішень процесів переробки складів БГС. Для цього попередньо виконується кодування

структури чергового складу, перетворення кодів станцій призначення вагонів у відповідні внутрішні форми. (ДНГ, ЛНГ, скорочену СЛНГ). Закодовані форми складів порівнюються з шаблонами БЗнШ, які становлять оптимальні структури процесів РФ, отримані попередньо. Для поточного складу поїзда в якості раціональної моделі процесу РФ вибирається шаблон, найближчий у відповідній метриці.

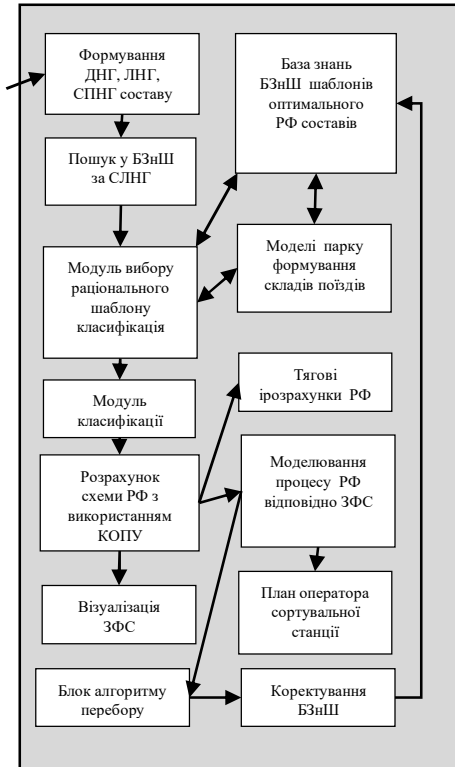


Рис. 4 Структура інформаційної технології РФ з використанням інтелектуальних процедур

При неповному збігу раціонального шаблону з БЗнШ та структури поточного складу виконується процедура до-формування та остаточний розрахунок схеми РФ з використанням процедури АПХ. Для утвореної технологічної схеми переробки складу виконуються тягові розрахунки, покрокове моделювання процесу РФ, розраховується остаточний план оператора станції сортування. У разі потреби передбачено функцію візуалізації процесу РФ.

Модулі вибору раціонального шаблону шляхом класифікації, виконання класифікації поточних операції (КОПУ), а також розрахунку схеми РФ з використанням КОПУ, рис. 4, використовують процедури асоціативної пам'яті. Блок алгоритму перебору виконується для контролю оптимальності отриманого рішення РФ, поза технологічного ланцюга ІТ. За його результатами

реалізують процедури корегування вмісту БЗнШ.

Висновки

Науково-прикладне завдання з удосконалення методів та технологій оптимального планування на основі моделей упорядкування мульти-послідовностей замовлень з урахуванням складності неоднорідних операторів формування, натеper являється актуальним. В статті для завдань оптимального планування з використанням конструктивних моделей упорядкування мульти-послідовностей замовлень з урахуванням складності операцій запропоновані нові інтелектуальні процедури класифікації станів процесів. Процедури орієнтовані в тому числі на удосконалення технологій розформування-формування багатогрупових залізничних составів. В результаті досліджень розроблені процедури класифікації станів та операцій розформування-формування составів з використанням нейронних моделей асоціативної пам'яті Хеммінга. При цьому удосконалено структуру та процедури інформаційної технології РФ. Реалізовані приклади застосування інтелектуальних процедур вибору операцій для завдань оптимального упорядкування послідовностей замовлень. Наукова новизна результатів досліджень полягає в розвитку математичних і комп'ютерних процедур класифікації станів багатопараметричних процесів дискретної оптимізації, що забезпечує підвищення їх чисельної ефективності. Практична значимість результатів визначається удосконаленням структури і процедур інформаційної технології розформування-формування багатогрупових залізничних составів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бобровский В. И. и др. Имитационное моделирование процесса формирования багатогруппных составів на двосторонній гірці малої потужності // Транспортні системи та технології перевезень. – 2018. – №. 15. – С. 19-26.
2. Скалозуб В.В. Конструктивні багатопараметричні моделі для впорядкування послідовностей з урахуванням складності операцій формування / Скалозуб В.В., Ільман В.М., Білий Б.Б. // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2020. – № 4 (88). – С. 61-76. : <https://doi.org/10.15802/stp2020/213232>
3. Kozachenko, D. Improving the Efficiency of Multi-Group Trains Formation / D. Kozachenko, V. Bobrovskiy, I. Skovron, J. Jablonskytė // Transport Means 2019 : Proc. of the 23rd Intern. Sci. Conf. (Oct.

02–04, 2019, Palanga, Lithuania) / Kaunas Univ. of Technology [et al.]. – [Kaunas], 2019. – Pt. III – P. 1083–1089.

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85074253323&origin=resultlist>

4. Kozachenko D., Bobrovskiy V., Gera B., Skovron I., Gorbova A. An Optimization Method of the Multi-Group Train Formation at Flat Yards. *International Journal of Rail Transportation*. 2021. Vol. 9, iss. 1. P. 61-78. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23248378.2020.1732235>

5. Скворон И. Я. Вдосконалення методики оцінки тривалості формування багатогрупних составів // *Транспортні системи та технології перевезень*. – 2014. – №. 8. – С. 134-138.

6. Скалозуб В. В. Структура інтелектуальної інформаційної технології формування багатогрупних составів / В.В. Скалозуб, Б.Б. Белый // *Транспортні системи та технології перевезень*. – Дніпро: Вид-во Дніпров. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2019. т. Вип. 17.- С. 62-68 https://nmetau.edu.ua/file/system_technologies_for_modelling_of_complex_processes.pdf

7. Shynkarenko, V. I. Iman. V. M. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. I. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure / *Cybernetics and Systems Analysis*, Volume 50, Issue 5, pp 655-662. <http://link.springer.com/article/10.1007/s10559-014-9655-z>

8. Shynkarenko V. Development of a toolkit for analyzing software debugging processes using the constructive approach / V. Shynkarenko, O. Zhevaho // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – v. 5/2 (107). – p. 29-38. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215090 <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/215090/215301>

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

10. Yadavalli V. A supply chain management model to optimise the sorting capability of a “third party logistics” distribution centre/ Yadavalli V., Balcou C. // *South African Journal of Business Management* – 2017. – Vol. 48. – p. 77-84. DOI: 10.4102/sajbm.v48i1.22.

11. Shang Zhigang. Feature Selection Based on Grouped Sorting/ Zhigang Shang, Mengmeng Li // 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID). – 2016. – p. 451-454. DOI: 10.1109/ISCID.2016.1111.

12. Кормен Томас Х. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание./ Лейзерсон Чарльз И., Ривест Рональд Л., Штайн Клиффорд Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2010. – 1296 с.: ил. – Парал. тит. англ. – ISBN 978-5-8459-0857-5.

13. Butko T. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms [Text]/ V. Prokhorov D. Chekhunov // *Восточно-европейский журнал*. – 2017. – № 1/3 (58). – P. 55-61.

14. McCue, C. Data Mining and Predictive Analysis. Intelligence Gathering and Crime Analysis [Текст] : 2nd Edition. / Colleen McCue – Butterworth-Heinemann, 2015. – 422

15. Mohammad Bawangaonwala, Dhirajkumar Wadhwa, Umesh V. Nandeshwar A review on development of intelligent transport system to compare with Nagpur transport system // *IJCSMC*, Vol. 7, Issue. 4, april 2018, pg.12 – 21.

16. Хайкин С. Нейронные сети. – М. Вильямс, 2006. – 1104 с.

17. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. – М/: Горячая линия - Телеком, 2010.- 520 с.

Скалозуб В.В., Ильман В.М. Прикладной системный анализ интеллектуальных систем транспорта [Текст] - Д.: Изд-во Днепрпетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. 2013. – 212 с.

Надійшла в редколегію 28.11.2021

Прийнята до друку 03.12.2021

В. В. СКАЛОЗУБ, В. Н. ГОРЯЧКІН, И. А. ТЕРЛЕЦЬКИЙ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ УПОРЯДОЧИВАНИЯ ПОСЛЕДОВНОСТЕЙ ЗАКАЗОВ НЕОДНОРОДНЫМИ ОПЕРАТОРАМИ ФОРМИРОВАНИЯ

Представлены результаты исследований задач дискретного оптимального планирования широкого круга производственно-технологических, логистических и других сервисных процессов. В основу методов планирования положены новые интеллектуальные процедуры упорядочивания (ИПУ) последовательностей элементов (заказов), реализуемые средствами конструктивного моделирования. Назначение процедур – повышение эффективности получения упорядочивания заказов с учетом сложности операций формирования, а также ограничений на ресурсы. В статье рассмотрены модели и методы применения ИПУ, ориентированные на процессы расформирования-формирования (РФ) многогрупповых железнодорожных составов (МЖС) на сортировочных станциях. Формально такие процессы представлены новыми моделями для составления мультипоследовательностей заказов с учетом сложности операций (УМПСО). При поиске оптимальных решений использованы модели ассоциативной памяти Хэмминга, позволяющие классифицировать текущие ситуации

процессов УМПСО. В них каждому классу определенных состояний (с учетом неполноты и возмущения данных) соответствует один или несколько рациональных операторов из числа возможных. Процедуры ИПУ уменьшают количество вариантов анализа и повышают численную эффективность метода оптимизации мультипоследовательностей заказов. В статье приведены формализация многослойных конструктивных моделей процессов УМПСО, интеллектуальные процедуры для методов их реализации, выполнено формирование процедуры классификации операций на основе моделей нейронных сетей Хэмминга. При этом также разработана усовершенствованная структура информационной технологии РФ с использованием интеллектуальных процедур, приведены примеры их применения.

Ключевые слова: многогрупповые составы, расформирование-формирование, мульти-последовательности заказов, конструктивное моделирование, оптимальное упорядочение, интеллектуальные процедуры ассоциативная память Хэмминга, информационные технологии.

V. SKALOZUB, V. HORIACHKIN, I. TERLETSKII

INTELLECTUAL PROCEDURES FOR ORDERING SEQUENCE ORDERS BY INHOMOGENEOUS FORMING OPERATORS

The researches results of discrete optimal planning problems of a wide range of production-technological, logistic and other service processes are presented. The planning methods are based on new intelligent procedures for ordering (IPO) sequences of elements (orders), which are implemented by means of constructive modeling. Purpose of procedures is to increase the efficiency of ordering receiving of orders, taking into account the complexity of the formation operations, as well as resource constraints. The article considers the models and methods of IPO application, which are focused on the processes of disbandment-formation (DF) of multigroup railway trains at sorting stations. Formally, such processes are represented by new models of ordering multi-sequences of orders taking into account the complexity of operations (OMSCE). In the search for optimal solutions, models of Hamming's associative memory are used, which allow to classify the current situations of OMSCE processes. In them, each class of certain states (taking into account the incompleteness and data perturbation) corresponds to one or more rational operators from among the possible ones. IPO procedures reduce the number of analysis options and increase the numerical efficiency of the optimizing multi-sequence orders method. The article presents the formalization of multilayer constructive models of OMSCE processes, intelligent procedures for methods of their implementation, the formation of the procedure for operations classification based on models of Hemming neural networks. At the same time, an improved structure of DF information technology with the use of intelligent procedures is also developed, examples of their application are given.

Keywords: multigroup trains, dismantling-forming, multi-sequences of orders, constructive modeling, optimal ordering, intellectual procedures, Hemming's associative memory, information technologies.