

УДК 656.222.3:519.87

В. В. СКАЛОЗУБ^{1*}, В. М. ІЛЬМАН^{2*}, Б. Б. БІЛИЙ^{3*}

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

^{2*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта valeriy_ilman@ukr.net, ORCID 0000-0003-0983-8611

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

КОНСТРУКТИВНІ БАГАТОШАРОВІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВПОРЯДКУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ З УРАХУВАННЯМ СКЛАДНОСТІ ОПЕРАЦІЙ ФОРМУВАННЯ

Мета. Основною метою статті є постановка нової задачі планування процесів функціонування сервісних систем, а також розвиток конструктивних методів моделювання складних процесів та систем шляхом розробки багатошарової конструктивної моделі з упорядкування наборів неоднорідних послідовностей замовлень (MLCPM), яка враховує складність операцій формування. **Методика.** У роботі запропоновано постановку нової задачі моделювання, що призначена для впорядкування неоднорідних послідовностей елементів (замовлень). Досліджувані задачі поширені в логістичних, технологічних, інформаційних, залізничних та інших процесах. Головною та суттєвою відмінністю запропонованих конструктивних багатошарових моделей є введення до їх складу додаткових структур конструювання, що забезпечують можливості задавання складності операцій формування, а також додаткового аналізу властивостей об'єктів, які формуються під час реалізації розв'язків. Засобами MLCPM також реалізують процедури оптимального керування процесами пошуку розв'язків. **Результати.** У статті на прикладі задачі з оптимального формування-розформування багатогрупових залізничних составів розроблено нову багатошарову конструктивну модель процесів оптимального планування задач із упорядкування наборів неоднорідних послідовностей замовлень. Також запропоновано класифікацію ознак, які визначають типи математичних моделей процесів упорядкування. **Наукова новизна.** Виконано постановку нової науково-прикладної задачі щодо планування сервісних систем, уперше здійснено класифікацію ознак класів математичних моделей процесів упорядкування послідовностей замовлень з вагою операцій. Отримали розвиток контруктивно-продукційні моделі шляхом створення багатошарових та паралельних конструктивних структур моделювання розформування-формування составів. **Практична значимість.** Цінність отриманих результатів визначається широким спектром можливих застосувань задачі з планування сервісних систем. Запропоновані багатошарові конструктивні структури моделювання дозволяють удосконалити інструментарій конструктивного моделювання. Побудована модель процесів оптимального розформування-формування составів дозволяє отримати нову форму реалізації зазначених технологічних процесів залізничного транспорту.

Ключові слова: конструктивне моделювання; багатошарові моделі; паралельне конструювання; неоднорідні послідовності замовлень; упорядкування послідовностей; складність операцій формування; багатогрупові залізничні состави

Вступ

У багатьох сучасних сферах діяльності, зокрема в промислових та логістичних технологіях, у певних математичних методах аналізу та планування часто постають задачі, які формально можуть бути зведені до конструктивного (шляхом побудови) оптимального впорядку-

вання елементів певних множин або недетермінованих послідовностей замовлень (НПЗ) для отримання визначених структур з урахуванням складності операцій процесів формування [1, 5, 6, 7, 10]. В [7] було досліджено модель управління ланцюгами постачання для сортування замовлень дистрибуційного логістичного центру. Застосування моделей групового сортуван-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ня для вибору функцій класифікації даних наведено у [2]. Некласичні задачі, які зводяться до конструктивного впорядкування елементів, є важливими для практики та мають значний теоретичний інтерес. Їх розв'язання суттєво відрізняється від розв'язання задач сортування та ін. [11]. Важливим для подальшого аналізу прикладом таких технологій є процеси розформування-формування (РФ) багатогрупових залізничних составів (БГС) на станціях [1, 5].

Для розв'язання задач упорядкування з урахуванням складності операцій (УПСО), їх ваги, необхідно виконати нові змістовні та формальні постановки задач, сформулювати моделі операцій, побудувати метрики для порівняння станів процесів формування, а також розробити спеціалізовані алгоритми реалізації задач упорядкування з вагою.

У роботі [6] запропоновано два методи формалізації процесів проектування проблемно-орієнтованих пристроїв, які представлені прямоспрямованим графом, а також графом із підзадачею з вибору множини оптимально реалізованих функцій. У [4] розглянуто питання формування потоків у мережах.

Конструктивні моделі знаходять усе більш широке застосування для відтворення та дослідження широкого кола процесів [7, 8, 9]. У роботі [8] було запропоновано предметну (продукційну) модель (КПМ) процесів конструювання $C = M, \Sigma, \Delta$, яка містить: M – неоднорідний носій, Σ – список відносин та відповідних операцій, Δ – набір засобів інформаційного забезпечення конструктивної побудови (правила, обмеження, умови початку та завершення побудови моделей, онтологію тощо). Складові набори КПМ визначають на основі дослідження допустимих операцій процесів УПСО.

У статті [9] представлено напрями розвитку КПМ для процесів, які розвиваються у змістовному предметному напрямі формальних графіків, зокрема в галузі онтологій [10].

У нашій роботі запропоновано подальший розвиток КПМ для розв'язання задач моделювання РФ, що також призначені для УПСО. Головною та суттєвою відмінністю пропонованих у роботі конструктивних багатопоточних моделей (КШМ, або MLCPM) від КПМ є введення до них додаткових структур конструювання, що забезпечують можливості визначення складнос-

ті операцій формування (інших складових), а також додаткового аналізу властивостей (показники загальної складності процесів, показники впорядкованості заданої послідовності замовлень тощо) структур, які формуються.

Із метою явного виділення головних упорядкованих складових процесів у моделях MLCPM запропоновано представляти їх системою окремих шарів L_i операцій конструювання, а саме: L_1 – шари оцінювання-перетворення даних; L_2 – оцінювання станів процесу конструктивного моделювання, відбір можливих операцій або процедур перетворення структури впорядкування; L_3 – генерація (породження) наступних локальних вузлів моделі; L_4 – формування моделей оцінювання локальних або глобальних властивостей; L_5 – процедури оцінювання параметрів моделей; L_6 – оптимізація процесу пошуку рішень. Окремі шари L_i також можуть поєднувати кілька із зазначених категорій операцій. Включення до моделі MLCPM шарових комплексів L_i операцій конструювання утворює системну модель CMLSI. Реалізація моделей процесів УПСО засобами багатопоточної моделі CMLSI для задач РФ составів представляє зміст нашої статті.

Мета

Основною метою статті є розвиток конструктивних методів моделювання складних процесів та систем шляхом розробки багатопоточної конструктивної моделі CMLSI, призначеної для аналізу та планування задач з УПСО, зокрема РФ, у яких ураховано складність («вагу») операцій формування. У роботі слід виконати постановку нової задачі планування процесів функціонування сервісних системи – виконання задачі УПСО, а також запропонувати класифікацію ознак, які визначають типи математичних моделей наведених процесів.

Методика

Конкретизуємо постановку задачі УПСО. Розглядаємо множини послідовностей елементів (in-потіки) та цільових послідовностей елементів (out-потіки). Установлюємо структури та складності операцій, а також обмеження на

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ресурси системи формування (обслуговування). Для відомих множин та елементів in-потоків замовлень (з їх визначеними властивостями – індекс out-потоків, ros-індекс призначення, вимірювані показники, припустимі операції, пріоритет тощо) відома сукупність операцій конструювання out-потоків з оцінками відносної/абсолютної складності (ваги). Також задаємо ресурси та обмеження щодо можливостей процесів конструювання вихідних потоків, умови або вимоги завершення процедур конструювання послідовностей out-потоків. Можливе існування елементів з однаковим індексом out-потоків та ros-індексом у кількох in-потоках. Виконуємо умову on-line, що означає можливість неодноразової появи елементів in-потоків. Необхідно сформулювати модель процесу утворення на основі заданої множини невпорядкованих in-потоків замовлень множин, упорядкованих за ros-індексами призначення out-потоків. При цьому потрібно мінімізувати

загальні витрати на процеси УПСО конструювання, а також ресурсних обмежень.

Схематично зазначена постановка, безумовно, визначає й типову постановку задачі РФ одного состава на кількох залізничних напрямках [1, 3, 5]. Інші приклади постановок задач УПСО наведено у статті нижче. Аналіз постановок задач, моделей та процедур різноманітних технологічних процесів, які реалізують із використанням процесів конструктивного формування впорядкованих за певними ознаками елементів (замовлень, клієнтів, засобів тощо), дозволяє визначити певну систему ознак, за якими встановлюють категорії математичних, інформаційних, логістичних та інших моделей для дослідження та планування процесів УПСО. Для характеризувати різноманітних процесів із конструктивного впорядкування сукупності послідовностей замовлень проведемо класифікацію ознак (властивостей), наявність або відсутність яких призводить до окремих математичних класів задач.

Таблиця 1

Класи ознак математичних моделей процесів УПСО

Table 1

Classes of signs of mathematical models of processes of the account of operations complexity

Номер	Назва ознаки	Описання властивості	Приклади моделей
1 (p1)	Структура потоків	$\{P_k \rightarrow Q_r\}, (k, r > = 1)$	$P_1 \rightarrow Q_2$
2 (p2)	Детерміновані/ стохастичні/ нечіткі/ невизначені	Задані або відсутні показники прямування потоків елементів (імовірності, ступені приналежності, ін.)	Для $P_1 \rightarrow Q_2$ визначені $(p_{11}, p_{12}), p_{11} + p_{12} = 1$
3 (p3)	Статичні/ динамічні	Урахування часових властивостей операцій $W(t)$	$W(t) = W$
4 (p4)	Синхронні / асинхронні	Одночасне або неодгочасне отримання вхідних послідовностей	Синхронні (одночасне)
5 (p5)	Одноетапні / багатоетапні	Розподіленість операцій та зон обслуговування за етапами, не всі зони постійно доступні	Одноетапні (під час розв'язання доступні всі зони обробки)
6 (p6)	Без втрат / із втратами	У моделях із втратами не всі вхідні елементи надходять до вихідних послідовностей	Без втрат
7 (p7)	Повні /on-line / semi on-line	Наявність даних про наступні послідовності (відомі / не відомі / часткова інформація)	Повні

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Продовження табл. 1
Continuation of Table 1

Номер	Назва ознаки	Описання властивості	Приклади моделей
8 (p8)	Число виконавців (1/ багато)	Установлене обмеження на число незалежно виконуваних операцій	Багато
9 (p9)	Число зон обслуговування (1/ багато)	Задане число зон обслуговування потоків замовлень	Багато

У табл. 1 наведено ознаки класів математичних моделей задач упорядкування, які певним чином урахують показники складності (неоднорідності та вагу) операцій щодо їх реалізації. Відповідно до табл. 1 класи математичних моделей процесів упорядкування з урахуванням неоднорідності (складності) операцій формування визначають за переліком ознак або властивостей чи їх комбінацій, тобто за векторами виду $PC = (p_1, p_2, \dots, p_9)$. Кожен із визначених таким чином класів моделей буде мати відмінні від інших математичні структури описання вхідних/вихідних даних, представлення результатів та процедур отримання розв'язку. Ця класифікація ознак показує широкий спектр можливих застосувань запропонованої задачі конструктивного впорядкування, вона може бути продовжена.

Укажемо інші змістовні приклади деяких технологічних процесів, які формально можливо віднести до певних класів конструктивних моделей відповідно до табл. 1. Типовим прикладом стохастичних, або нечітких, процесів упорядкування є задач з формування черги хворих на спеціалізоване лікування (операції тощо). Вхідні потоки – це надходження списків із різних джерел (від відділень поліклініки та ін.), у яких указано діагностичні фактори, необхідні додаткові аналізи тощо. Необхідно побудувати вихідну чергу, упорядковану відповідно до лінгвістичних показників («негайно», «першочергово», «близько 12 днів», ...). Зрозуміло, що за такого впорядкування забезпечення детермінованого порядку пацієнтів у списку, що зростає за номерами, не відповідає сутності процесу. В асинхронних моделях передбачено впорядкування кількох вхідних послідовностей (наприклад, залізничних составів), які надходять неодноразом до системи формування.

Прикладом процесів із втратами елементів вхідних послідовностей є наведене вище завдання РФ поїздів, коли деякі вагони вилучають зі складу, переформовують інакше. Моделі впорядкування послідовностей класу semi on-line мають місце, коли до уваги беруть інформацію про передісторію досліджуваних (контрольованих) технологічних та інших процесів. Наприклад, для підвищення ефективності процесів РФ у [3] створено базу знань структур «Шаблони формування». Таким чином, за рахунок уведення інтелектуальних моделей опису задач та процедур пошуку подібних шаблонів спрощують задачі РФ поїздів, які представлено як задачі класу semi on-line. Характеристики математичних моделей процесів УПСО у табл. 1 показують, що для кожного класу задач необхідно створювати окремий клас конструктивних моделей та відповідних процедур.

Результати

Дослідимо формування конструктивних математичних моделей процесів УПСО. Представимо загальну структуру моделей задач 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) , d – граничне значення множин. Далі будемо позначати структури моделей УПСО $S_1 \rightarrow Q_1$, $S_m \rightarrow Q_1$, $S_1 \rightarrow Q_r$ 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 позначають номерами i_p (вхідні невпорядковані) та i_q (вихід-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ні впорядковані), а також індекси призначення замовлень n_q для i_q . Між елементами out-seq потоків $e_k(q)$ та $e_m(q)$ виконують звичайну умову впорядкування відповідно до індексів pos-ind n_q :

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

де через r та m позначені номери елементів out-seq Q_q . Установлено, що під час реалізації всі структури моделей УПСО вигляду (1) можуть бути зведені до основної базової структури S_1Q_1 .

Представимо результати розробки багатшарової конструктивної структури моделі впорядкування замовлень, подаючи процес конструювання через параметри «зон обслуговування (ЗО) $Z_e, e=1,2,\dots,m_Z$. ЗО під час відображення процесів конструктивного моделювання (побудови розв'язку) визначають спеціальні формальні компоненти, у яких відбувається формування вихідних упорядкованих послідовностей замовлень із початкових неупорядкованих. Засобами аналізу вмісту ЗО визначають усі властивості процесу, можливі оператори перетворення системи ЗО, які не призводять до порушення системи обмежень моделі формування, а також перевіряють умови закінчення процесу конструювання.

Розв'язання задачі УПСО формують за певними етапами. Структуру та всі характеристики процесу конструювання відображають (зберігають) у вигляді моделі орієнтованого графа (графа розмітки, вершини якого містять поточні структури ЗО $Z_e, e=1,2,\dots,m_Z$, а також значення їх показників складності та впорядкованості, що наведені нижче). Розмітка містить упорядкування вузлів-станів процесу конструювання, отримане на основі проходження етапів конструювання. Вона являє собою дерево вузлів (у загальному вигляді граф) виконання операцій, або алгоритмів формування впорядкування, кожна з вершин розмітки має оцінку складності (вагу). Ці оцінки питомі, загалом залежать від кількості елементів (n), які беруть участь в операціях і які обробляють алгорит-

мами $A(n)$, зазначеними також у структурі (1).

Формалізуємо оптимізаційну постановку задачі УПСО (1). Позначимо як S_p вхідні, а Q_q – вихідні послідовності замовлень з елементами $e_i(p)$, $e_j(q)$ з їх визначеними властивостями, що знаходяться на місцях i_p та i_q , причому відомі для i_q задані індекси призначення замовлень n_q . Різні S_p можуть мати елементи $e_i(p)$ однакою призначенням n_q . На різних місцях i_p однієї послідовності S_p можуть бути елементи з однакою призначенням n_q . У встановленій множині різних вихідних послідовностей Q_q не може бути елементів з однакою призначенням. Задано також зони обслуговування $Z_e, e=1,2,\dots,m_Z$, де можуть міститися S_p , Q_q , а також їх модифікації, отримані під час застосування операцій перетворення. Вихідні послідовності Q_q можуть міститися в певних або всіх зонах Z_e .

Якщо для всіх зон Z_e $Z^{(k)}$ відомі процедури доступу до елементів ЗО $D^e = \{D^e_j(m)\}$, тоді встановлюють певну групу, послідовність (m) елементів ЗО, якими можливо оперувати. У цьому можливість застосування процедур доступу залежить від кількості елементів у групі. Серед процедур доступу D^e також можуть бути процедури $D^e_j(m)$ паралельного доступу, які забезпечують незалежний доступ до окремих послідовностей елементів (наприклад, із початку та з кінця Z_e). Для ЗО задано множини допустимих операцій перетворення $F^e = \{F^e_z\}$, за якими визначають правила формування вмісту зон Z_e під час застосування операцій F^e . Також вважають заданими показники складності, вагу операцій перетворення $W^e = \{W^e_z\}$. Виконання процедур перетворення ЗО Z_e забезпечують процеси-виконавці $-A(Z_e)$, кількість яких вважають відомою, $n_A \Rightarrow 1$.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Виходячи з уведених структур щодо представлення та перетворення ЗО $Z_e, e=1,2,\dots,m_Z$, для розв'язання задачі УПСО необхідно визначити вид, аргументи та послідовність виконання операторів F^e для окремих зон Z_e таким чином, щоб забезпечити впорядкування Q_q , отримати $R(Z)=0$ за мінімальних витрат на процес УПСО, з урахуванням складності операцій конструювання, а також ресурсних обмежень, де $R(Z)$ – загальна оцінка неупорядкованості ЗО $Z_e, Z^{(k)}$. Процес упорядкування виконують (конструюють) за кроками, або етапами. Етапи складаються з виконання певних незалежних одна від одної процедур F^e одним або кількома виконавцями $A(Z_e)$. При цьому на етапі повинні бути виконані всі процедури перетворення, допустимі та відібрані заданим методом (визначений нижче). Одночасність дії кількох виконавців, $n_A > 1$, визначає паралелізм у процесі формування розв'язку щодо $R(Z)=0$.

Показник складності процесу УПСО $W^e = \{W_z^e\}$ змістовно є оцінкою витрат часу, коштів або фінансових та інших ресурсів, і в цілому представляє вектор $W(Z) = (W_1(Z), W_2(Z), \dots, W_p(Z))$. Також під час конструювання послідовностей процедур F^e необхідно враховувати ресурсні обмеження щодо процедур перетворення F^e процесами $A(Z_e)$, а також допустимих значень $W(Z)$, $D_W = \{W_r(Z) \leq W_{r*}\}$ показників. Позначимо послідовності допустимих операцій F^e на етапах процесу формування впорядкування через $\pi_i(F^e)$, а множину всіх таких послідовностей як $\pi = \{\pi_i(F^e)\}$. Задача оптимального УПСО для структури (2) полягає в такому. Серед множини $\pi = \{\pi_i(F^e)\}$ необхідно визначити

таку послідовність $\pi_{r*}(F^e)$, для якої виконується умова:

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

при цьому $D_W = \{W(Z) \leq W_*\}$, де W_* – це заданий вектор показників.

Визначимо компоненти розвитку КПМ (1). Для забезпечення можливостей розрахунку параметрів складності в модифікованій багатозаровій моделі CMLSI повинні бути явно задані моделі конструювання ваги терміналів:

$$T:(T, \omega_T(z)), \quad (3)$$

де z – зони обслуговування процесів.

Модель (3) показує, що процес конструювання (ПК) визначається характеристиками зон обслуговування $Z(e)$. ПК явно представлено такою моделлю: розмітка ПК (PC), G_{PC} . Ця розмітка G_{PC} в загальному вигляді є графом, у якому позначено вузли $g_i(k) \in G_{PC}(k)$, де k – етап конструювання. Характеристики вузлів $g_i(k) \in V$, де V – вузли G_{PC} :

$$g_i^{(k)}\left(Z^{(k)}, R\left(Z^{(k)}\right), W(Z)\right) \in G_{PC}(k). \quad (4)$$

У (4) позначено через $Z^{(k)}$ зміст зон обслуговування на етапі ПК (k).

У виразі (4) $R(Z)$ – загальна оцінка неупорядкованості зон обслуговування $Z^{(k)}$, $W(Z)$ – оцінка складності (ваги) процедур формування для вузла $g_i(k)$. Зауважимо, що величину $R(Z)$ обчислюють на основі окремої моделі, із використанням спеціальної міри впорядкування, наведеної у статті нижче. Уведення до моделі CMLSI структури для оцінювання складності вузлів графа G_{PC} забезпечує нові кількісні показники, а також якісні можливості моделей конструювання. У CMLSI стає можливим оцінювати безпосередньо процес конструювання (у завданнях УПСО це загальна оцінка неупорядкованості $R(Z)$) у (4), а також використо-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

увати такі оцінки для цілеспрямованого вдосконалення ПК.

Оцінку складності $W(Z^k)$ обчислюють за формулою:

$$W_{ipq}^{(k+1)}, r = W_i^{(k)} + \mathcal{W}_{(p,q)}^{(r)}; \forall r, p, q \in m_Z, \quad (5)$$

де $W_i^{(k)}$ – оцінка складності вузла $g_i(k)$ на етапі ПК (k), i – номер вузла графа розміток на цьому етапі конструювання; $W_{(p,q)}^{(r)}$ – оцінка складності операції перетворення (алгоритму A^r) для зон (p – вихідні, q – результуючі), залежно від кількості елементів, що беруть участь в операції; причому вагу алгоритму A^r задають у моделі з терміналами $(T, W_T(Z))$.

У виразі (5) $W_{ipq}^{(k+1)}, r$ – вага вузла графа розмітки G_{PC} процесу конструювання на етапі $(k + 1)$, який виходить із вузла $W_i^{(k)}$ за допомогою застосування алгоритму A^r .

Для відбору множини алгоритмів $A_i^r(k)$, які можуть бути застосовані до вузла $g_i(k)$ на етапі конструювання $(k + 1)$, розроблено метод багат шарової моделі CMLSI, представлений окремою структурою моделювання КПМ (або ж СРМ).

З урахуванням моделей (3) – (5) у цьому розділі побудовано опис процесу конструювання у вигляді графа розміток, який дозволяє явно представляти й оцінювати властивості процесу формування висновку з вагою операцій, а також уточнити й отримати розвиток КПМ [1, 6].

У задачах УПСО існує ряд процесів, які можуть проходити одночасно, паралельно. Наприклад, побудова множин допустимих операцій перетворення стану процесів формування, побудова множин станів графа розміток процесу конструювання, пошук подібних шаблонів для вхідних НПЗ та ін., які потребують додаткового розв'язку у КПМ. Разом із тим реалізацію таких паралельних методів конструювання не передбачено у структурі КПМ (1) [8], так само як розрахунки оцінок загальної складності алгоритмів конструювання КПМ. Ці можливос-

ті, поряд із багат шаровістю моделі, у якій узгоджуються кілька окремих КПМ, є змістом розвитку конструктивного моделювання, виконаного у статті.

Відповідно до робіт [8, 9], основна структура КПМ має такий вигляд:

$$C = M, \Sigma, \Lambda \xrightarrow{s} C_{CP} = M_{CP}, \Sigma_{CP}, \Lambda_{CP}. \quad (6)$$

У моделі (6): M – предметний носій; Σ – носій дій (операцій, операторів тощо) та їх схема; Λ – представлення реалізацій; права частина моделі є результатом трансформації структури до конкретної предметної області.

Реалізацію процесу конструювання алгоритму розв'язку виконують за рахунок розробки спеціалізованих алгоритмів процесів УПСО, створення відповідної системи правил, розробки інших складових моделі (6). Виконаємо розвиток багат шарової паралельної структури CMLSI КПМ, що враховує складність виконаних алгоритмів відповідно до (3) – (6). У реальних задачах конструювання подання процесів єдиною структурою виду (6) може призводити до значного ускладнення такої моделі. Для зменшення в цілому конструктивного опису будемо виконувати виділення окремих підзадач відносно самостійних (декомпозицію) та ін. Додатковою підставою для створення багат шарової структури моделі є те, що на практиці виділення загальної формальної мети й подання процесу конструювання, без реалізації часткових задач, може бути досить проблемним. Представимо модель багат шарового конструювання, що узагальнює (6), таким чином: уведемо конструктивні моделі вигляду (6) для часткових підзадач відповідно до вихідної, розрізняючи їх індексами $1, 2, \dots, n_S$:

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_n). \quad (7)$$

Розглядаючи як мету реалізацію задачі УПСО, створюємо опис структури графа розміток $G(Z^{(k)})$, що відображає етапи процесу конструювання, наприклад, вигляду (3) – (6). Конструктивні моделі шарів зв'язують через модель процесу $G(Z^{(k)})$. На відміну від КПМ,

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

у моделях шарів $LMCP_s$ уведено термінали згідно з (3), із вагою.

Загальна структура багат шарової моделі MLCPM або CMLSI має вигляд:

$$\xi_{MLCPM} \rightarrow A_{IN} \Big|_{in_seq}^{x_G, z}, \xi_1, \quad (8)$$

$$\xi_S \rightarrow A_S, \xi_{(S+1)},$$

$$\text{за } S = 1, 2, \dots, n_S - 1; \quad (9)$$

$$\xi_{n_S} \rightarrow A_{n_S}, \xi_{end}; \xi_{end} \rightarrow A_{end} \Big|_{z, x_G, I}^b, A_q \Big|_{b, \xi_q}, \text{ за}$$

$$q \in [2, \dots, n_q].$$

Конструктивні моделі, які відповідають окремим шарам $LMCP_s$, можуть містити оператори паралельного конструювання вигляду:

$$\xi_{par} \rightarrow A_{cond} \Big|_{z, x_G}^{not(b)}, \xi_*, \xi_{synchr}; \quad (10)$$

де позначено

$$\xi_x \rightarrow \left(\left\| A_{ci} \Big|_{not(b_i), A_i, Y_i, I_i}^{I_i, Y_i} \right\| \right), \text{ за } i \in t; \quad (11)$$

$$\xi_{synchr} \rightarrow A_{end} \Big|_{b, I}^{(b^* = \wedge b_i), I'}, A_{synchr} \Big|_{not(b_i, \xi_i)}. \quad (12)$$

Продукція (перетворення або відображення) (11) показує, що модель процесу має паралельні структури конструювання A_{ci} , $i \in t$, які виконують до умови $(b_i) = \text{true}$; за подальших звернень до алгоритмів A_{ci} їх пропускають. Структура синхронізації (12) перевіряє умови завершення всіх паралельних алгоритмів (11), логічний вираз b_* . Якщо $b_* = \text{true}$, то (10) завершиться. У моделі (8) – (12) позначено таке: A_{IN} – алгоритм процесу формування внутрішніх моделей (L_1); A_S – алгоритм конструювання моделей шарів $LMCP_s$; A_{ci} – алгоритм паралельного конструювання; x_G – представлення графа розміток ПК; z – зони обслуговування; in_seq – набір вхідних послідовностей; I_i, Y_i, b_i – параметри паралельних процесів (11); A_{end} – алгоритм оцінки закінчення (11);

A_{synchr} – алгоритм синхронізації закінчення;

A_q – алгоритм повтору моделей шарів (q) (9).

Модель структури з правилами (8) – (12) і задає багат шарову рекурсивну модель CMLSI.

Подальше формування MLCPM для задачі УПСО полягає в розробці конструктивних моделей шарів LCPM, $S = (S_1, S_2, \dots, S_{m_S})$. Для задачі УПСО загальна схема структури процесу формування впорядкування НПЗ така:

E1. Виконання процедур отримання, контролю вхідних НПЗ відповідно до (1) $IN(x)$.

E2. Формування внутрішніх моделей $IN(Z)$, представлених через зони обслуговування Z , далі позначено $(ML_2; \xi_2)$.

E3. Формування моделі для оцінки міри впорядкування $(ML_3; \xi_3)$.

E4. Вимірювання оцінок міри порядку $R(Z)$, за $R(Z) = 0$; кінець.

E5. Модель $(ML_5; \xi_5)$ подає конструювання множини можливих операторів (процедур) перетворень зон Z_k (можливе паралельне виконання).

E6. Конструювання нового шару графа розміток $G(Z)^{(k+1)}$ за допомогою можливих операторів, $(ML_6; \xi_6)$ (можливе паралельне виконання).

E7. Перехід до етапу E3.

Таким чином, процес конструювання за схемою (E1 – E7) у роботі представлено відповідно до єдиної структури (8). При цьому у вигляді модифікованих КІМ (6) (з урахуванням введення ваги терміналів відповідно до (3)) будують конструктивні моделі шарів для етапів E2 – E6.

На рис. 1. представлена узагальнена блок-схема багат шарової моделі MLCPM процесів УПСО, яка відповідає (8). У ній також позначено компоненти, виконання яких можливе паралельно, із реалізацією паралельних операторів конструювання (10) – (12).

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

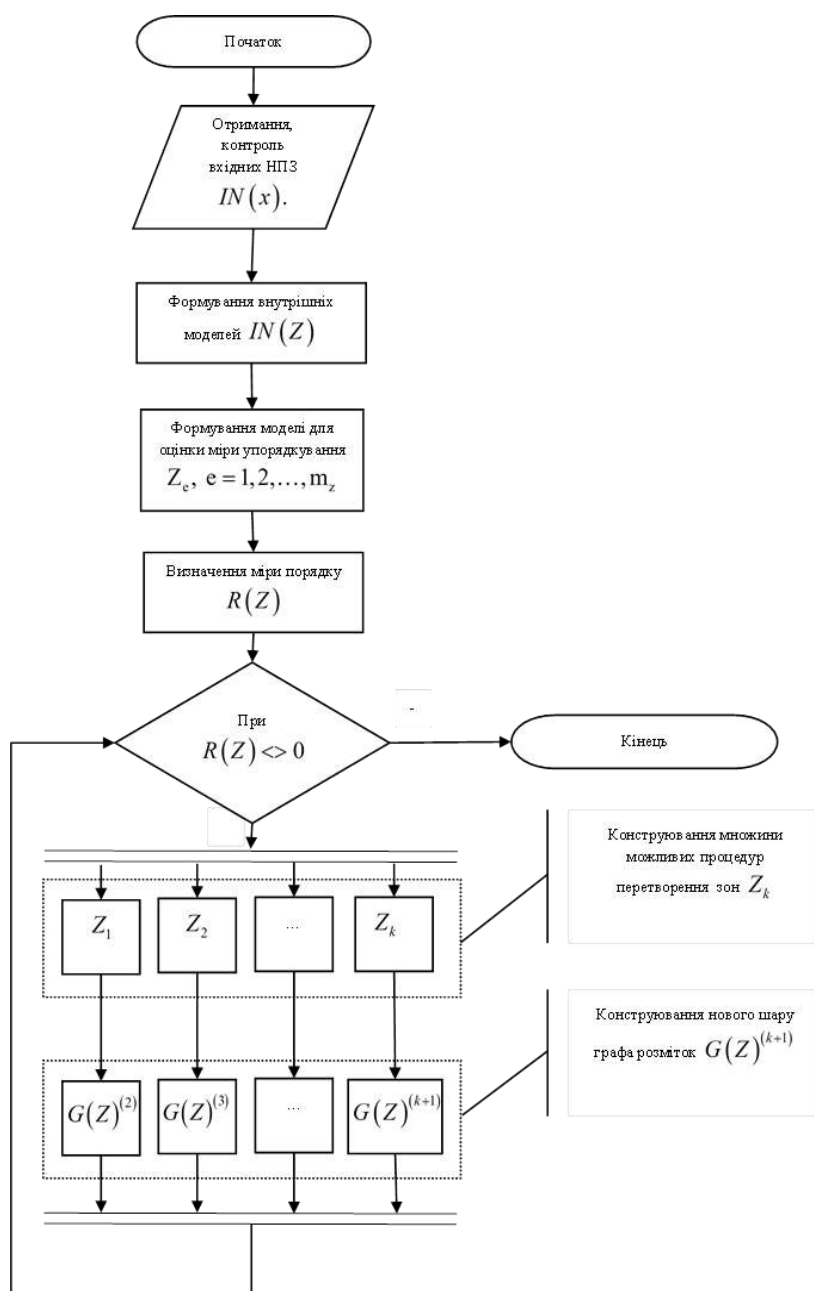


Рис. 1. Блок-схема багат шарової моделі MLCPM

Fig. 1. Block diagram of the multilayer model MLCPM

Деталізуємо змістовно окремі складові шарів моделі MLCPM. Кожна з подальших складових багат шарової моделі (8) може бути представлена структурно, як на рис. 1:

1. Реалізація процедур отримання та контролю вхідних даних про структуру типу задачі

впорядкування, а також невпорядковані послідовності замовлень (1) $IN(x)$.

2. Формування внутрішніх підмоделей [3] задачі УПСО (ML2) і зворотного перетворення:
а) визначення класу процесу перетворення за $IN(Seq) p_r \rightarrow q_s (p, q \geq 1)$;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

б) зведення $IN(Seq)$ до структури $p_1 \rightarrow q_1$;
в) формування дійсних номерів груп (ДНГ) для $p_1 \rightarrow q_1$;

г) формування логічної нумерації груп (ЛНГ);

д) конструювання скорочених ЛНГ (СЛНГ) для $IN(Seq)$.

Використання схеми бази знань шаблонів (БЗнШ) для формування (підбору) подібних шаблонів, для яких відомі оптимальні плани впорядкування $SH(IN(Seq))$. У разі повного збігу – завершити розв'язання задачі.

Результат: ДНГ, ЛНГ, СЛНГ для $IN(Seq)$;

е) у разі перебування в БЗнШ $SH(IN(Seq))$ виконати конструювання оптимального плану для $IN(Seq)$ за шаблоном $SH(IN(Seq))$. Перетворення необхідне у зв'язку з тим, що кожній ЛНГ, СЛНГ відповідає множині можливих вхідних послідовностей, тому потрібен перехід від внутрішніх моделей до дійсної вхідної послідовності, також необхідно перейти від структури $p_q \rightarrow q_q$ до вихідної структури згідно з $p_r \rightarrow q_s$.

3. Модель ML_3 для розрахунку міри впорядкування послідовності НПЗ за $\{Z_l\}$.

Вхідні дані: розподіл елементів НПЗ за зонами обслуговування $Z_l, l=1, 2, \dots, m_z$; граничне число виконавців конструювання системної форми впорядкування $\{Z_l\}$.

а) побудувати шляхом конкатенації підпослідовностей, збережених у зонах обслуговування Z_l , усі можливі, з урахуванням допустимих правил перетворення (вставка в голову | «хвіст» | з інвертуванням порядку та ін.), послідовності $L_Z = \{L_Z^{(j)}\}, j=1, 2, \dots, m_L$;

б) розрахувати оцінки складності з'єднання послідовностей $W_Z = \{W_j(L_Z^{(j)})\}$;

в) використовуючи метрику $mes(L)$, вигляду (13) \forall_j , розрахувати $R(L_Z^{(j)})$;

г) побудувати множину L_Z , що містить послідовності $L_Z^{(j)}$ з $\min(R(L_Z^0))$;

д) конструювання процесів п. п. 3. а – 3. з можливо виконати за допомогою паралельних структур (10) – (12). Результатом ML_3 є множина оптимальних на етапі (k) упорядкувань для зон $\{Z_l\}$ з оцінками складності з'єднань. Для реалізації задач із розрахунку міри впорядкування послідовності НПЗ використовують функцію міри вигляду (13), див. нижче.

4. Модель ML_5 конструювання множин можливих операцій (процедур) перетворення для $\{Z_l\}$, з урахуванням L_Z^y :

а) дані: число виконавців (як окремий параметр конкретної задачі УПСО); зони $\{Z_l\}$ множин допустимих операцій (процедур) перетворення в кожній Z_l ;

б) у кожній Z_l формуються набори міток щодо порушення порядку, можливого поділу послідовності;

в) для кожної точки поділу з урахуванням можливих операторів конкатенації в зонах Z_l розглядають нові структури зон обслуговування Z'_l , отримані за рахунок приписування, приєднання фрагментів, виділених у всіх зонах $\{Z_l\}$;

г) розраховують міри впорядкування в кожній із зон $\{Z'_l\}$ і в системі впорядкування в цілому;

д) операторів перестановок, які призводять до зростання міри впорядкування, відбирають спільно з методами поділу підпослідовностей $\{Z_l\}$ як множин процедур конструювання на етапі (k+1).

Конструювання процесів п. п. 4. а – 4. д можливо виконати за допомогою паралельних структур (10) – (12).

Результат: множина операцій для побудови шару (k+1) графа розміток.

5 Модель ML_6 конструювання нового шару (етап формування графа розміток) за допомогою відібраних операторів (дані: зони $\{Z_l\}$; число виконавців):

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

а) для кожного вузла графа розміток $G(Z)$ виконати всі операції перетворення (перестановки);

б) обчислити показники складності для всіх нових вузлів графа $G(Z')$, використовуючи модель міри (13);

в) побудувати послідовності виконання операцій перестановки для кожного з виконавців, урахувавши обмеження за кількістю виконавців.

Конструювання процесів формування моделі реалізації п. п. 5. а – 5. б можна виконати за допомогою паралельних структур (10) – (12).

Моделі конструювання шарів ML_2, \dots, ML_6 можуть бути представлені засобами MLCPM за її схемою КПМ, а також додатковими паралельними структурами вигляду (10) – (12).

Для реалізації моделі впорядкування УПСО вигляду (1) найбільш важливою є задача внутрішнього представлення процесів конструювання, вимірювання ступеня впорядкування станів системи $\{Z_l\}$, розділення послідовностей заявок окремих Z_l на частини, які використовують під час формування нових вузлів графа розміток $G(Z)$. Процедури формування внутрішніх моделей ДНГ, ЛНГ, СЛНГ представлені в роботах [1, 3]. Вони дають можливість перейти від фактичних індексів призначення заявок до їх узагальнених кодів. Використання внутрішніх кодів скорочує й уніфікує розрахунки, дозволяє створювати шаблони для баз знань (БЗнШ).

Центральною ланкою конструктивної багатшарової моделі (6), (8) процесів УПСО CMLSI є міра впорядкування послідовності кодів замовлень НПЗ, а саме $R(Z)$ – загальна оцінка невпорядкованості зон обслуговування $Z^{(k)}$ (4), яка є додатковим параметром графа розміток G_{PC} процесу конструювання. Важливо, що показник $R(Z)$ є спеціалізованим, уведеним безпосередньо для задач УПСО типу РФ, як загальна характеристика всього ПК. Для інших задач конструктивного моделювання на основі (8) необхідно використовувати інші характеристики ПК.

Для вимірювання ступеня впорядкування послідовності цілих чисел щодо зростання $\{(n_i < n_j, i < j), i = 1, 2, \dots, n\}$ запропоновано характеристику міри вигляду:

$$mes(L) = M_L(L) = \sum_{k=1}^n V_k; \quad (13)$$

$$V_k = \sum_{i=1}^{k-1} p_i, \quad p_i = \{0; n_i < n_k | 1; n_i > n_k\}.$$

Для зворотного впорядкування $\{Z_1(54321); Z_3(0)\}$. $(n_i > n_j, i < j)$ підраховують число порушень порядку праворуч від позиції k .

Модель (13) задовольняє властивостям міри [2, 11]. Вона ефективно забезпечує оцінку впорядкування для прямого й зворотного прямування номерів, що характеризують НПЗ.

Аналіз і численні експерименти з реалізації задач УПСО дозволили встановити деякі загальні вимоги до вибору меж (до міток поділу послідовностей кодів НПЗ), за якими необхідно встановлювати частини НПЗ (під ланцюжки) і використання яких дозволяє спростити ПК та зменшити обсяг перебору варіантів побудови графа розміток G_{PC} , тобто до операторів ділення НПЗ – $DIV(Z_l)$. Процедури $DIV(Z_l)$ створюють вектор міток, що визначають можливі під ланцюжки, на які поділяються послідовності в $\{Z_l\}$.

Загальною змістовною властивістю операцій відділення в числових послідовностях (ланцюжках) є порушення щільної (без пропусків номерів) нумерації елементів. При цьому розглядають два види впорядкування: за зростанням (up), за спадною нумерацією (down). Мітки поділу відповідають порушенню щільної (up|down) нумерації елементів. Такі мітки забезпечують виконання операторів перестановок: із початку зони (Head (H)) в голову іншої (H); із початку (H) в кінець (End (E)); із початку (H) в кінець (E) є інвертуванням елементів послідовності (E.I.); також інші подібні оператори перетворення.

Можливі способи перестановок (з'єднання-поділу) ланцюжків устанавлюють у структурах моделі конструювання УПСО (8).

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Наведемо приклади конструювання векторів міток поділу зон $\{Z_l\}$. У наведених нижче послідовностях номерів кодів НПЗ межі для поділу ланцюжків визначають вертикальні риси, установлені оператором $DIV(Z_l)$.

Розмітки ланцюжків:

$$Z_1(234|6)(\text{умова up}); Z_3(1|7|32)(\text{down});$$

$$Z_1(8|23|5)(\text{up}); Z_2(321|5).$$

Упорядкування за однакових номерів груп елементів (приписування під ланцюжків в будь-якому зручному та раціональному порядку:

$$Z_1(43|54|21)(\text{down});$$

$$Z_2(12|54|34)(\text{up, down}).$$

Послідовність перестановок за мітками:

$$\{Z_1(43|54), Z_3(21)\}; \{Z_1(54|43), Z_3(21)\}.$$

Упорядкування на основі методу розриву щільної числової послідовності з урахуванням повтору номерів $Z_1(432|7|56|4|21|3)$: мітки розриву за умов up | down.

Повторні номери в послідовності також є ознакою міток розриву (у прикладі 2, 3, 4). З урахуванням умови повтору номерів отримана інша система міток розриву зони Z_1 :

$$Z_1(4|3|2|7|56|4|2|1|3).$$

Будемо називати мітки, отримані на основі (up | down), мітками типу t_1 ; мітки для умови повторів номерів назвемо типу t_2 . Для формування множин можливих операцій перестановок частин $\{Z_l\}$ спочатку досліджують мітки типу t_1 , якщо для них немає допустимих операторів конкатенації – розглядають варіанти поділу $\{Z_l\}$ за мітками типу t_2 .

Як приклад, послідовність виконання операторів конструювання порядку така:

$$I1\{Z_1(432|7|56|4|21), Z_2(3)\};$$

$$I2\{Z_1(27|56|4|21), Z_2(3|34)\};$$

$$I3\{Z_1(122|7|56|4), Z_2(3|34)\};$$

$$I4\{Z_1(7|56|4), Z_2(122|3|34)\};$$

$$I5\{Z_1(7|56), Z_2(122|33|44)\};$$

$$I6\{Z_1(7), Z_2(122|33|44|56)\};$$

$$I7\{Z_1(), Z_2(122|33|44|56|7)\}.$$

Приклади показують зміст процесу конструювання порядку УПСО на основі векторів міток t_1 і t_2 . Обчислення показника міри (13) для зазначеної послідовності етапів демонструє збіжність процесу – зменшення показників невпорядкованості до $R(Z)=0$. У табл. 2 наведено покрокове виконання процедури впорядкування послідовності замовлень $\ln(\text{Seq})$, коли використовують дві ЗО, указано операції формування порядку, склад ЗО, а також зміну загальної оцінки міри невпорядкованості, яка зменшується до $R(Z)=0$. Дані таблиці демонструють застосування показників (13) для планування процесу впорядкування УПСО.

Наукова новизна та практична значимість

У статті виконано постановку нової науково-прикладної задачі з планування сервісних систем. Уперше здійснено класифікацію ознак класів математичних моделей процесів упорядкування послідовностей із вагою операцій. Отримали розвиток конструктивно-продукційні моделі шляхом створення багатопарових та паралельних конструктивних структур моделювання. Розроблено багатопарові конструктивні моделі процесів РФ залізничних составів.

Запропоновані багатопарові конструктивні структури моделювання дозволяють удосконалити інструментарій конструктивного моделювання, а побудована модель (6) – (8) представляє нову форму реалізації процесів оптимального РФ составів. Розроблені моделі процесів УПСО є придатними та ефективними для фор-

малізації широкого спектру задач аналізу та оптимального планування технологічних процесів залізничного транспорту, логістичних та різноманітних інформаційних систем.

Висновки

У статті розв’язано науково-прикладну задачу розвитку процесів конструктивного моделювання шляхом розробки конструктивної багатопарової моделі процесів упорядкування РФ та неоднорідних послідовностей замовлень (зокрема залізничних составів), які мають відмінність в урахуванні складності операцій формування, процесів УПСО. При цьому вперше виконано постановку та структурну формалізацію задачі з планування сервісних систем, яка може бути зведена до моделі процесів УПСО. Також здійснено класифікацію ознак (властивостей) постановок задач упорядкування НПЗ, наявність або відсутність яких призводить до окремих математичних класів задач конструктивного моделювання. Класифікація ознак дозволяє встановити широкий спектр можливих прикладних та математичних застосувань запропонованої задачі конструктивного упорядкування УПСО.

Було створено багатопарові й паралельні конструктивні структури, розроблено багатопарові конструктивні моделі процесів оптимального розформування-формування багатогрупових поїздів.

Запропоновані у статті конструктивні моделі процесів УПСО є універсальними для багатьох технологічних додатків, заснованих на процедурах оптимального упорядкування складових компонентів за допомогою неоднорідних систем операцій.

Таблиця 2

Виконання процедури впорядкування

Table 2

Performing of the ordering procedure

Номер кроку		Z_1	Z_2	$R(Z)$
1	IN(Seq)=	4 2 5 3 1	0	14
	$L =$	3 2 2 3 4		
2	IN(Seq)=	4 2 5 3	1	6
	$L_1 =$	2 1 1 2	0	6
	$L_2 =$	3 2 2 3	4	14
3	IN(Seq)=	4 2 5	1 3	4
	$L_1 =$	1 2 0	0 1	4
	$L_2 =$	3 2 2	3 2	12
4	IN(Seq)=	2 5	1 3 4	4
	$L_1 =$	2 0	0 1 1	4
	$L_2 =$	1 3	2 1 1	8
5	IN(Seq)=	2	1 3 4 5	2
	$L_1 =$	3	0 1 1 1	6
	$L_2 =$	1	1 0 0 0	2
6	IN(Seq)=	1 2	3 4 5	0
	$L_1 =$	3 3	2 2 2	12
	$L_2 =$	0 0	0 0 0	0
7	IN(Seq)=	1 2 3 4 5	0	0
	$L =$	0 0 0 0 0		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бобровский В. И., Сковрон И. Я., Дорош А. С., Демченко Е. Б., Малашкин В. В., Болвановская Т. В. Имитационное моделирование процесса расформирования многогруппных составов на двусторонней горке малой мощности. *Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпро, 2018. Вип. 15. С. 19–26. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2018/150194>
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. *Алгоритмы : построение и анализ*. Пер. с англ. 2-е изд. Москва : Вильямс, 2005. 1296 с.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

3. Скалозуб В., Белый Б. Структура интеллектуальной информационной технологии формирования многогруппных составов. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2019. Вып. 17. С. 62–68. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2019/178217>
4. Holzhauser M., Krumke S. O., Thielen C. Maximum flows in generalized processing networks. *Journal of Combinatorial Optimization*. 2016. Vol. 33. Iss. 4. P. 1226–1256. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10878-016-0031-y>
5. 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*. 2020. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1080/23248378.2020.1732235>
6. Kravchenko G. Modeling the External Structure of a Fractals. *EIOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 90. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012100>
7. Shang Zh., Li M. Feature Selection Based on Grouped Sorting. *2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)* (Hangzhou, 10–11 dec. 2016). Hangzhou, 2016. P. 451–454. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCID.2016.1111>
8. Shynkarenko V. I., Ilman V. M. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. i. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2014. Vol. 50. Iss. 5. P. 655–662. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-014-9655-z>
9. Skalozub V., Ilman V., Shynkarenko V. Ontological Support Formation for Constructive-Synthesizing Modeling of Information Systems Development Processes. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2018. Vol. 5, № 4 (95). P. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143968>
10. Stuart D. *Practical Ontologies for Information Professionals*. Language Arts & Disciplines, 2016. 224 p. DOI: <https://doi.org/10.29085/9781783301522>
11. Yadavalli V. S. S., Balcou C. A supply chain management model to optimise the sorting capability of a «third party logistics» distribution centre. *South African Journal of Business Management*. 2017. Vol. 48. Iss. 1. P. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.4102/sajbm.v48i1.22>
12. Zhukovyts'kyi I. Use of an automaton model for the designing of real-time information systems in the railway stations. *Transport problems*. 2017. Vol. 12. Iss. 4. P. 101–108. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.4.10>

В. В. СКАЛОЗУБ^{1*}, В. М. ИЛЬМАН^{2*}, Б. Б. БЕЛЫЙ^{3*}

^{1*}Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта skalozub.vl.v@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

^{2*}Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта valeriy_ilman@ukr.net, ORCID 0000-0003-0983-8611

^{3*}Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта hibarike@gmail.com, ORCID 0000-0001-8324-4673

КОНСТРУКТИВНЫЕ МНОГОСЛОЙНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ УПОРЯДОЧЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С УЧЕТОМ СЛОЖНОСТИ ОПЕРАЦИЙ ФОРМИРОВАНИЯ

Цель. Основной целью статьи является постановка новой задачи по планированию процессов функционирования сервисных систем, а также развитие конструктивных методов моделирования сложных процессов и систем путем разработки многослойной конструктивной модели по упорядочению наборов неоднородных последовательностей заказов (MLCPM), которая учитывает сложность операций формирования. **Методика.** В работе предложена постановка новой задачи моделирования, предназначенной для упорядочения неоднородных последовательностей элементов (заказов). Исследуемые задачи распространены в логистических, технологических, информационных, железнодорожных и других процессах. Главным и существенным отличием предлагаемых конструктивных многослойных моделей является введение в их состав дополнительных структур конструирования, обеспечивающих возможности задания сложности операций формирования, а также дополнительного анализа свойств объектов, формирующихся при реализации реше-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ний. Средствами MLCPM также реализуют процедуры оптимального управления процессами поиска решений. **Результаты.** В статье на примере задачи по оптимальному формированию-расформированию много-группных железнодорожных составов разработана новая многослойная конструктивная модель процессов оптимального планирования задач по упорядочению наборов неоднородных последовательностей заказов. Также предложена классификация признаков, которые определяют типы математических моделей процессов упорядочения. **Научная новизна.** Выполнено постановку новой научно-прикладной задачи по планированию сервисных систем, впервые осуществлено классификацию признаков классов математических моделей процессов упорядочения последовательностей заказов с весом операций. Получили развитие конструктивно-производственные модели путем создания многослойных и параллельных конструктивных структур моделирования расформирования-формирования составов. **Практическая значимость.** Ценность полученных результатов определяется широким спектром возможных применений задачи по планированию сервисных систем. Предложенные многослойные конструктивные структуры моделирования позволяют усовершенствовать инструментарий конструктивного моделирования. Построенная модель процессов оптимального расформирования-формирования составов позволяет получить новую форму реализации указанных технологических процессов железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: конструктивное моделирование; многослойные модели; параллельное конструирование; неоднородные последовательности заказов; упорядочение последовательностей; сложность операций формирования; многогруппные железнодорожные составы

V. V. SKALOZUB^{1*}, V. M. ILMAN^{2*}, B. B. BILYI^{3*}

^{1*}Dep. «Computer Information Technology», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail skalozub.vl.v@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

^{2*}Dep. «Computer Information Technology», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail valeriy_ilman@ukr.net, ORCID 0000-0003-0983-8611

^{3*}Dep. «Computer Information Technology», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail hibarike@gmail.com, ORCID 0000-0001-8324-4673

CONSTRUCTIVE MULTI-LAYER MODELS FOR ORDERING A SET OF SEQUENCES, TAKING INTO ACCOUNT THE COMPLEXITY OPERATIONS OF FORMATION

Purpose. The aim of the article is to pose a new task for planning the processes of service systems functioning, as well as the development of constructive methods for modeling complex processes and systems by developing multilayer constructive model for ordering sets of inhomogeneous order sequences (MLCPM), which takes into account the complexity of formation operations. **Methodology.** The paper proposes the formulation of a new modeling problem, designed for ordering heterogeneous sequences of elements (orders). The studied results were used in logistics, technological, information and other processes. The main and essential difference of the proposed constructive multilayer models is the introduction of additional design structures into their composition, which provides the ability to set the complexity of the formation operations, as well as the possibility of additional analysis of the properties of objects that are formed during the adoption of decisions. Procedures of optimal control of the processes of finding decision are also being implemented by means of MLCRM. **Findings.** Using the example of the problem of optimal making- and breaking-up of multi-group trains, a new multilayer constructive model of optimal planning processes for ordering sets of heterogeneous order sequences has been developed. The article proposes a classification of features that determine the types of mathematical models of ordering processes. **Originality.** The article formulates a new scientific and applied problem for the planning of service systems, for the first time, the classification of signs of mathematical model classes of ordering processes of order sequences with the weight of operations was carried out. In the article, constructive-production models were developed, which was done by creating multilayer and parallel structural modeling structures for making- and breaking-up of trains. **Practical value.** The practical value of the results is determined by a wide range of possible applications of the proposed task for the planning of service systems. The proposed multilayer structural modeling structures allow im-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

proving the tools of constructive modeling. The constructed model of the processes of optimal making- and breaking-up of trains allows obtaining a new form of implementation of these technological processes of railway transport.

Keywords: constructive modeling; multilayer models; parallel construction; heterogeneous orders sequences; sequence ordering; complexity of formation operations; multi-group railway trains

REFERENCES

1. Bobrovsky, V., Skovron, I., Dorosh, A., Demchenko, Ye., Malashkin, V., & Bolvanovska, T. (2018). Simulation Modeling of the Process of Disbanding Multigroup Compositions on a Double-Sided Low Power Hump. *Transport System and Transportation Technologies*, 15, 19-26. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2018/150194> (in Russian)
2. Kormen, T., Leyzerson, C. I., Rivest, R. L., & Shtayn, K. (2011). *Algoritmy: Postroenie i analiz*. Moscow: Williams. (in Russian)
3. Skalozub, V. V., & Bilyy, B. B. (2019). Structure of intellectual information technology for formation of multi-group train. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 17, 62-68. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2019/178217> (in Russian)
4. Holzhauser, M., Krumke, S. O., & Thielen, C. (2016). Maximum flows in generalized processing networks. *Journal of Combinatorial Optimization*, 33(4), 1226-1256. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10878-016-0031-y> (in English)
5. Kozachenko, D., Bobrovskiy, V., Gera, B., Skovron, I., & Gorbova, A. (2020). An optimization method of the multi-group train formation at flat yards. *International Journal of Rail Transportation*, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1080/23248378.2020.1732235> (in English)
6. Kravchenko, G. (2017). Modeling the External Structure of a Fractals. *EIOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 90, 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012100> (in English)
7. Shang, Zh. & Li, M. (2016, December). Feature Selection Based on Grouped Sorting. *2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)* (pp. 451-454). Hangzhou, China DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCID.2016.1111> (in English)
8. Shynkarenko, V. I., & Ilman, V. M. (2014). Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. i. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure. *Cybernetics and Systems Analysis*, 50(5), 655-662. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-014-9655-z> (in English)
9. Skalozub, V., Ilman, V., & Shynkarenko, V. (2018). Ontological support formation for constructive-synthesizing modeling of information systems development processes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(4(95)), 55-63. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143968> (in English)
10. Stuart, D. (2016). *Practical Ontologies for Information Professionals*. Language Arts & Disciplines. DOI: <https://doi.org/10.29085/9781783301522> (in English)
11. Yadavalli, V. S. S., & Balcou, C. (2017). A supply chain management model to optimise the sorting capability of a «third party logistics» distribution centre. *South African Journal of Business Management*, 48(1), 77-84. DOI: <https://doi.org/10.4102/sajbm.v48i1.22> (in English)
12. Zhukovyts'kyy, I. (2018). Use of an automaton model for the designing of real-time information systems in the railway stations. *Transport Problems*, 12(4), 101-108. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.4.10> (in English)

Надійшла до редколегії: 03.03.2020

Прийнята до друку: 04.08.2020