

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 656.211:004:61

В. В. СКАЛОЗУБ^{1*}, В. М. ГОРЯЧКІН^{2*}, О. В. МУРАШОВ^{3*}

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

^{2*}Каф. «Інтелектуальні системи енергопостачання», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта vgoga@ukr.net, ORCID 0000-0002-8952-952X

^{3*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта al.dp.ua@gmail.com, ORCID 0000-0003-1815-6508

Комплексні моделі впорядкування мультипослідовностей із нечіткими параметрами

Мета. Основною метою статті є формування математичних комплексних конструктивних моделей процесів упорядкування мультипослідовностей елементів із нечіткими параметрами. При цьому встановлено такі вимоги до процедур нечіткого упорядкування мультипослідовностей з урахуванням складності операцій (НУМПСО): урахування нечітких оцінок складності операцій формування, необхідність визначення нечітких класів для впорядкування вихідних елементів, а також побудови індивідуальних нечітких моделей для процесів надходження замовлень із різних джерел. **Методика.** Для розв'язання задач оптимального планування недетермінованих процесів клінічного моніторингу лікування хворих виконано формування комплексних конструктивних математичних моделей процесів упорядкування мультипослідовностей елементів із нечіткими параметрами – FMLCSPM. Під час формування моделей задач НУМПСО застосовано методику зі створення моделей із багатощаровими структурами. Для реалізації нечітких задач застосовано методи та процедури дискретизації системи нечітких величин із використанням множин α -рівнів. **Результати.** У статті запропоновано підхід до розв'язання задач аналізу та оптимального планування процесів клінічного моніторингу лікування хворих, представлених як управління потоками в сервісних системах у разі невизначеності. Для його формалізації та виконання розроблено комплексні багатощарові конструктивно-продукційні моделі впорядкування мультипослідовностей із нечіткими параметрами. **Наукова новизна.** У роботі отримали розвиток контруктивно-продукційні методи моделювання складних систем, представлені у формі багатощарової моделі FMLCSPM, що призначена для процесів упорядкування мультипослідовностей елементів із нечіткими параметрами. В FMLCSPM запропоновано моделі шарів, які забезпечують урахування нечітких оцінок складності операцій упорядкування, класифікацію нечітких параметрів вихідних елементів, формування та аналіз індивідуальних нечітких моделей процесів надходження замовлень до сервісних систем. **Практична значимість.** Отримані результати мають значення для розвитку спектру застосування задач оптимального планування процесів у сервісних системах, представлених як упорядкування мультипослідовностей із нечіткими параметрами. Розроблені комплексні моделі процесів НУМПСО є придатними та ефективними для формалізації задач аналізу та оптимального планування процесів клінічного моніторингу, а також широкого спектру інших задач моніторингу недетермінованих процесів транспорту, логістичних та сервісних систем.

Ключові слова: конструктивне моделювання; мультипослідовності; упорядкування послідовностей; багатощарові моделі; нечіткі параметри; складність операцій формування; нечітка класифікація; клінічний моніторинг; індивідуальні нечіткі моделі процесів

Вступ

Задачі конструктивного (шляхом побудови) оптимального впорядкування елементів певних недетермінованих послідовностей або множин, із метою отримання впорядкованих установленим чином заключних структур, коли необхідно враховувати складність («вагу») заданих операцій формування, є досить поширеними й складними під час реалізації [2, 12, 15, 16, 20, 21]. Серед них найпростіші задачі сортування [2], до яких належать також моделювання управління ланцюгами постачання для сортування замовлень [15], моделі групового сортування, які призначені для задач вибору функцій класифікації даних [20], процеси розформування-формування (РФ) залізничних багатогрупових составів (БГС) [13, 21], конструктивне формування моделей потоків у досліджуваних мережах у [5] та ін. Загалом різноманітні задачі з конструктивного впорядкування довільно організованих послідовностей елементів становлять значний теоретичний та практичний інтерес.

У статті [5] уперше була сформульована змістовна постановка задачі оптимального впорядкування набору послідовностей елементів та запропонована нова математична модель для класу процесів конструктивного впорядкування з урахуванням складності операцій (УМПСО). При цьому була розроблена конструктивна структура для їх чисельної реалізації.

Також у зазначених статтях було розглянуто важливий приклад технологій УМПСО для залізничного транспорту, якими є процеси РФ составів. У наведених вище прикладах таких задач упорядкування послідовностей з урахуванням складності операцій (УПСО), параметри всіх елементів та об'єктів процесів, а також їх математичних моделей разом із процедурами розглядали як детерміновані. Разом із цим у [5] відзначено й широкий клас різноманітних недетермінованих процесів, реалізованих шляхом конструктивного впорядкування наборів послідовностей замовлень. Також запропоновано класифікацію ознак (властивостей об'єктів або процесів упорядкування), наявність яких визначає окремі класи математичних моделей аналізу та оптимального планування. Зокрема, серед таких видів ознак відзначені властивості

параметрів потоків (нечіткі, невизначені ін.), кількість процесів та число зон обслуговування (один або багато), умова щодо припустимості впорядкування не всіх об'єктів (вилучення окремих), урахування змісту й повноти інформації про потоки замовлень тощо.

Окрім РФ залізничних составів, моделювання й аналіз яких виконано в [13, 21], існують інші класи недетермінованих процесів обслуговування УМПСО з метою забезпечення оптимального впорядкування їх елементів. У нашій статті досліджено задачі з організації моніторингу процесів реабілітації хворих на діабет. Фактично отримані при цьому теоретичні результати можуть бути застосовані в більш загальному сенсі, наприклад, для моніторингу технічного стану множин складних технічних систем. Особливостями таких процесів моніторингу є те, що окремі об'єкти контролю (а саме хворі) мають власні, індивідуальні, моделі процесів реабілітації з недетермінованими (у статті – нечіткими) параметрами. Також суттєво те, що дані спостережень нерівномірні в часі.

Проблеми моделювання недетермінованих процесів із нечіткими параметрами, а також нерівномірними інтервалами спостережень привертають усе більше уваги. У статті [15] зазначено, що багато методів спектрального аналізу було розроблено з урахуванням послідовностей, узятих із постійним інтервалом вибірки. Однак існують емпіричні часові ряди, наприклад, у геонауці (дані про чисельність скам'янілостей, ізотопний аналіз тощо), які не відповідають регулярному відбору проб через відсутність даних, прогалини в даних, випадкові вибірки або неповні послідовності даних. Як правило, інтерполяція нерівномірного ряду для отримання послідовності з постійним інтервалом дискретизації змінює його властивості, у тому числі спектральний зміст ряду. У таких випадках часто перевагу надають підходам, які працюють із нерівномірними даними безпосередньо, уникаючи необхідності переходів до явного постійного кроку інтерполяції.

У роботах [9, 16, 18] розглянуто проблему підвищення точності прогнозу кількості пацієнтів з пневмонією. Її рішення може допомогти практикуючим лікарям підготувати необхідні ліки, працівників, інші засоби. Зазначена проблема створює велику небезпеку для життя ба-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

гатьох людей, тому під ас прогнозування потрібна адекватна точність. Для вирішення завдання використано нечіткі часові ряди (FTS) як ефективний спосіб прогнозування даних. Цей метод має переваги перед методами ARIMA й експоненціального згладжування Холта. Використання пропонованого методу FTS, який модифікує алгоритм Чена за рахунок більш високого порядку відносин, що зв'язують вихідні дані, дало змогу підвищити точність прогнозу числа пацієнтів із пневмонією.

У статті [10] запропоновано новий метод прогнозування нечітких часових рядів (FTS), заснований на оптимальному розбитті інтервалів в універсумі дискурсу й оптимальних вагових векторах двофакторних груп логічних відносин нечіткого тренду другого порядку (TSFTLRG). Пропонований метод використовує методи оптимізації рою частинок (PSO) для одночасного одержання оптимального розбиття інтервалів і вагових векторів. Цей метод FTS за точністю прогнозування обмінних курсів перевершував наявні методи TAIEX та NTD / USD.

Змістовно задачу організації та моделювання моніторингу процесів реабілітації захворювань можна звести до нечітких процесів упорядкування, призначених для формування «оптимальної» черги хворих на спеціалізоване обслуговування (діагностування, лікування, операції тощо). Відповідно до [10], у них вхідними даними є списки хворих (із діагностичними характеристиками), що надходять із різних джерел у довільній послідовності та в різні терміни. У списках клієнтів мають бути зазначені результати попередніх аналізів та вказані необхідні додаткові обстеження тощо. Задача впорядкування УМПСО полягає в побудові з кількох вхідних послідовностей (списків) однієї (або встановленого числа) вихідної послідовності клієнтів на обслуговування, у якій об'єкти повинні бути впорядковані відповідно до певних діагностованих пвд час аналізу категорій лінгвістичних показників: «першочергово», «близько 10 днів» тощо. При цьому елементи з однаковим класом оцінок діагностування можна вважати як еквівалентними щодо впорядкування, так і відмінними між собою, з урахуванням показників «ваги» операцій, які застосовують для впорядкування. Тож для таких задач УПСО визначення порядку клієнтів у ви-

хідних списках, що зростає за номерами, не відповідає сутності задач процесу моніторингу.

Для розв'язання задач УМПСО в [5] були запропоновані змістовні та відповідні їх формальні постановки, сформовані моделі операцій, побудовані метрики оцінювання ступеня неупорядкованості поточних станів процесів конструювання рішень, розроблені спеціалізовані алгоритми реалізації задач упорядкування «з вагою». У теоретичному сенсі в роботі [17] на прикладі задач моделювання УМПСО РФ составів був запропонований розвиток конструктивно-продукційних моделей (КПМ). Його сутність полягає у формуванні багат шарових КПМ, або MLCPM, яке виконують шляхом уведення до моделей додаткових формальних структур конструювання. За рахунок нових засобів моделей MLCPM забезпечуються можливості врахування різної складності операцій формування порядку, а також можливості аналізу поточних властивостей рішень (оцінки загальної складності процесів формування результату, упорядкованості послідовностей заповнень тощо).

В MLCPM для процесів УМПСО була запропонована структурна декомпозиція загальної моделі конструювання на систему окремих часткових моделей, шарів, які разом із тим формально залишаються КПМ. При цьому були виділені такі шари окремих операцій конструювання: L_1 – оцінювання-перетворення даних; L_2 – оцінювання станів процесу та відбір можливих операцій або процедур перетворення структур упорядкування; L_3 – генерація наступних рівнів вузлів моделі процесу у вигляді графа; L_4 – оцінювання локальних або глобальних властивостей; L_5 – оцінювання загальних параметрів моделей; L_6 – оптимізація процесу формування рішень. Особливості структури MLCPM наведені в [19]. Змістовно формування комплексних моделей, призначених для впорядкування мультипослідовностей задач процесів моніторингу реабілітації захворювань з нечіткими параметрами, полягає в утворенні нової структури багат шарової MLCPM, складові якої забезпечують реалізацію набору необхідних і визначених задач нечіткого моделювання.

Мета

Основною метою статті є формування комплексних математичних конструктивних моделей процесів упорядкування мультисеквенцій із нечіткими параметрами. При цьому встановлено певні додаткові вимоги до нечітких процедур УМПСО (НУМПСО). По-перше, потреба врахування нечітких оцінок показників складності операцій. По-друге, класифікація характеристик наборів неупорядкованих входних замовлень щодо їх призначення, тобто визначення вихідних класів упорядкування. По-третє, утворення індивідуальних нечітких моделей процесів надходження замовлень із різних джерел. Для реалізації нечітких задач НУМПСО необхідно також виконати розвиток багатосарових конструктивно-продукційних моделей (КПМ). Таким чином, мета дослідження полягає в розробці комплексних моделей зі структурою багатосарових MLCPM, призначених для аналізу спеціалізованих процесів НУМПСО.

Методика

Визначимо сутність задач НУМПСО для поданих вище процесів моніторингу. У них відомими є множини неупорядкованих послідовностей, або списків клієнтів (замовлень) (*in*-потоків, або наборів *in-seq*), які надходять у довільній послідовності, а також множини впорядкованих цільових послідовностей замовлень (*out*-потоків, або *out-seq*). Для елементів *in*-потоків (*in-order*) визначені певні властивості, атрибути (*a-order*), які можуть бути й нечіткими величинами. На основі аналізу (діагностування, класифікації тощо) наборів атрибутів (*a-order*) елементів (*in-order*) необхідно встановити категорію їх цільового потоку (індекс *out-seq*), а також показники впорядкованості – *pos*-індекси, які також можуть бути лінгвістичними термами).

Визначено суттєву відмінність постановок для процесів НУМПСО від детермінованих, де цільові потоки (*out-seq*) та потрібна в них упорядкованість елементів (*in-order*), тобто *pos*-індекси, було задано безпосередньо. Наприклад, у завданнях РФ составів *pos*-індекси було задано кодами станцій призначення.

Далі відома сукупність операцій конструювання *out-seq* з оцінками їх віднос-

ної/абсолютної складності (ваги), що можуть бути задані детермінованими або нечіткими величинами. За оптимального планування *out-seq* відомі загальні ресурси та обмеження щодо процесів конструювання, а також умови, що визначають їх завершення. У кількох *in*-потоках можливе існування елементів (*in-order*), які мають однакові встановлені категорії цільового потоку (*out-seq*) та порядок за *pos*-індексом. Виконано умову «on-line», що означає можливість неодноразової появи елементів *in*-потоків. Необхідно сформулювати модель процесу утворення на основі заданої множини неупорядкованих *in*-потоків замовлень множин упорядкованих за *pos*-індексами призначення *out*-потоків. При цьому потрібно мінімізувати загальні витрати на процеси НУМПСО з урахуванням властивостей атрибутів (*a-order*), показників складності операцій конструювання, а також ресурсних обмежень. Постановка та формалізація детермінованих задач оптимального впорядкування процесів УПСО наведена в роботі [19].

Для формування та реалізації конструктивних нечітких моделей з урахуванням складності операцій (НУПСО), у цій статті запропоновано методику та процедури, за допомогою яких процеси з нечіткими параметрами зводять до множини задач моделювання та аналізу УПСО з детермінованими параметрами, що були досліджені в [5]. Такі методи моделювання та реалізації нечітких задач типові за своєю структурою, але відрізняються природою та сутністю об'єктів і змістом дослідження.

Загальна структура комплексних моделей із реалізації НУМПСО в цілому відповідає структурі MLCPM, де окремими шарами часткових моделей розв'язують задачі оперування об'єктами та процесами з нечіткими характеристиками або складовими. У задачах моделювання процесів моніторингу засобами нових окремих шарів MLCPM ураховують нечіткі оцінки показників складності операцій конструювання, визначення вихідних класів (*out*-потоків) та впорядкованості елементів *in-order* у вигляді *pos*-індексів, формування та аналізу індивідуальних нечітких моделей процесів надходження замовлень до *in*-потоків. Кожна з наведених вище нових конструктивних моделей нових шарів MLCPM може бути також застосовано окремо за призначенням.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Результати

Під час формування конструктивних моделей нечітких процесів упорядкування елементів будемо визначати загальну структуру задач НУМПСО у такому вигляді:

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

де S , S_p та Q , Q_q позначають нечіткі структури *in-seq* та *out-seq* відповідно; p – число *in-seq* послідовностей; q – число *out-seq* потоків у НУПСО, з різними кількостями потоків (p, q) ; d – граничне значення множин. Окремі структури мультипослідовності НУПСО будемо позначати як $S_1 \rightarrow Q_1$, $S_m \rightarrow Q_1$, $S_1 \rightarrow Q_r$ тощо, або скорочено $S_1 Q_1$, $S_m Q_1$, $S_1 Q_r$. Структури послідовностей S'_p та Q'_q складаються з елементів *in-order* (замовлення) або $e_i(p)$, $e_j(q)$, які характеризуються наборами атрибутів (*a-order*). Елементи S'_p відрізняються за номерами i_p (вхідні неупорядковані замовлення), а номери вихідних цільових потоків (*out-seq*) визначають шляхом оброблення значень атрибутів (*a-order*) у моделі конструювання. Також за рахунок процедур моделювання встановлюють порядковий номер для виходів (*out-seq*), який визначають за допомогою приписування елементам потоків $e_j(q)$ *pos*-індексів (*pos-ind*) i_q . Задача з визначення вихідних класів (*out-seq*) для впорядкування елементів вхідних замовлень *in-order* призначена для забезпечення можливості встановити між елементами *out-seq* потоків $e_k(q)$ та $e_m(q)$ звичайної умови впорядкування відповідних значень 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).

Як і в [5], для задач НУПСО процес конструювання впорядкування *out-seq* (Q_q) подано за допомогою значень параметрів «зон обслуговування» (ЗО) $Z_e, e = 1, 2, \dots, m_Z$. Структури ЗО визначають усі властивості процесу впорядкування мультипослідовностей із нечіткими характеристиками. Реалізацію НУПСО вико-

нують поетапно, при цьому всі характеристики конструювання відображають за допомогою орієнтованих графів із вершинами, що зберігають структури ЗО $Z_e, e = 1, 2, \dots, m_Z$. Разом із характеристиками процесу, наприклад, можуть міститися S_p , Q_q та їх модифікації. Для ЗО $Z_e Z^{(k)}$ відомі процедури доступу до елементів $D^e = \{D^e_j(m)\}$, а також множини операцій перетворення $F^e = \{F^e_z\}$, за якими визначають новий зміст зон Z_e . Операції перетворення ЗО мають показники складності, «ваги» $W^e = \{W^e_z\}$, що можуть бути нечіткими величинами [4]. Перетворення ЗО Z_e реалізують процеси-виконавці – $A(Z_e)$.

Для оцінювання ступеня досягнення результату Q_q був уведений показник $R(Z)$ – загальна оцінка неупорядкованості ЗО $Z_e Z^{(k)}$. З огляду на $R(Z)$, оптимальна реалізація задач УПСО, до розрахунків множини яких зведено задачі НУПСО, полягає у встановленні (шляхом конструювання варіантів) виду, аргументів та послідовностей застосування операторів перетворення F^e для окремих зон Z_e , щоб отримати $R(Z) = 0$ за мінімальних витрат на процес упорядкування, складності операцій конструювання та заданих обмежень. Показники складності операцій перетворення $F^e = \{F^e_z\}$, тобто $W^e = \{W^e_z\}$, у загальному випадку можуть бути нечіткими величинами, які задають векторами $W(Z) = (W_1(Z), W_2(Z), \dots, W_p(Z))$, $A(Z_e)$, а також відповідними моделями нечітких величин і наборами припустимих значень показників $W(Z)$, $D_W = \{W_r(Z) \leq W_{r*}\}$.

Разом із показником $R(Z)$ загальної неупорядкованості ЗО $Z_e Z^{(k)}$ для задач УМПСО необхідно реалізувати процедури розрахунку параметрів складності операцій, які виконують за допомогою приписування величин показників «ваги» термінальним символам графіків конструювання [5]. Загальну оцінку складності

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

впорядкування $W(Z^k)$ на етапі процесу конструювання (k) обчислюють так:

$$W_{ipq}^{(k+1)}, r = W_i^{(k)} + \mathcal{W}_{(p,q)}^{(r)}; \forall r, p, q \in m_Z, \quad (2)$$

де $W_i^{(k)}$ – оцінка складності вузла $g_i(k)$ графа розміток G_{PC} ; i – номер вузла; $W(r)_{(p,q)}(n)$ – «вага» операції перетворення (алгоритму A^r) для зон (p – вихідні, q – результуючі) залежно від кількості елементів, що беруть участь в операції. Складність, «вагу» алгоритму A^r , визначають у моделі терміналами $(T, W_T(Z))$. Граф розмітки G_{PC} процесу конструювання (ПК, або PC) визначають характеристиками зон обслуговування $Z(e)$. Розмітка G_{PC} в загальному випадку є графом, де позначені вузли $g_i(k) \in G_{PC}(k)$, k – етап конструювання, характеристики вузлів $\mathcal{V} - g_i(k) \in \mathcal{V}$. Складовим етапом процесу конструювання порядку задач НУМПСО є вибір алгоритмів $A_i^r(k)$, що можуть бути застосовані до вузла $g_i(k)$ на етапі $(k + 1)$. При цьому обчислювальні процеси щодо відбору допустимих алгоритмів $A_i^r(k)$, операцій перетворення стану процесів формування, побудови множин станів графа розміток G_{PC} та ін. можна виконувати одночасно, паралельно. У цілому формалізація опису ПК у вигляді графа розміток G_{PC} дозволяє явно подавати й оцінювати всі його властивості щодо формування висновку з «вагою» операцій.

Під час формування комплексних моделей задач НУМПСО застосовуємо методику, розроблену в [5, 17], що полягає у створенні конструктивних математичних моделей із багат шаровими структурами. Конструктивні моделі шарів призначені для реалізації окремих змістовних підзадач. У подальшому часткові моделі $\{S_k\}$ позначаються індексами $1, 2, \dots, n_S$:

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_n). \quad (3)$$

Для відображення етапів процесу конструювання k створюють структури графа розміток $G(Z^k)$, через який зв'язуються між собою всі конструктивні моделі шарів $\{S_k\}$.

Подано структуру рекурсивної багат шарової нечіткої моделі – FMLCPM, відповідно до [5], у вигляді:

$$\xi_{MLCPM} \rightarrow A_{IN} \Big|_{in_seq}^{x_G, z}, \xi_1; \quad (4)$$

$$\xi_S \rightarrow A_S, \xi_{(S+1)} \text{ за } S = 1, 2, \dots, n_S - 1; \quad (5)$$

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

де $q \in [2, \dots, n_q]$.

Також конструктивні моделі окремих шарів $\{S_k\}$ реалізують оператори паралельного конструювання такого вигляду:

$$\xi_{par} \rightarrow A_{cond} \Big|_{z, x_G}^{not(b)}, \xi_*, \xi_{synchr}; \quad (6)$$

де

$$\xi_x \rightarrow \left(\left\| A_{ci} \Big|_{not(b_i), A_i, Y_i, I_i}^{I_i, Y_i} \right\| \right) \text{ за } i \in t; \quad (7)$$

$$\xi_{synchr} \rightarrow A_{end} \Big|_{b, I}^{(b^* = \Lambda b_i), I'}, A_{synchr} \Big|_{not(b_i, \xi_i)}. \quad (8)$$

В FMLCPM (4) – (6) позначено структури для реалізації задач УПСО як внутрішньої складової НУМПСО, що залежить від параметрів дискретизації нечітких моделей, а саме α -рівнів [3, 6]. У (4) – (6) позначені: 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 контролю закінчення (11); A_{synchr} – алгоритм синхронізації закінчення; A_q – алгоритм повтору моделей шарів (q) (5). У (7) визначено паралельні структури моделі процесу конструювання A_{ci} , $i \in t$, які виконують до умови $(b_i) = \text{true}$; у разі наступних звернень до алгоритмів A_{ci} їх пропускають. Умови завершення всіх паралельних алгоритмів (7) перевіряє структура синхронізації (8) через логічний вираз b_* : за $b_* = \text{true}$ процедура (6) завершується.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Розробка FMLCPM для задачі НУМПСО далі полягає у формуванні моделей окремих шарів $S = (S_1, S_2, \dots, S_{m_s})$ (3). Схема процесу формування НУПСО складається з таких етапів:

L1. Отримання, контроль вхідної мульти-послідовності даних задач НУМПСО (1).

L2. Формування нечітких послідовних вхідних *in-seq* та вихідних *out-seq* структур для НУМПСО (1). Визначення для елементів потоків $e_j(q)$ *pos*-індексів (*pos-ind*), i_q .

L3. Прогнозування нечітких послідовностей вхідних *in-seq* та вихідних *out-seq* структур.

L4. Формування внутрішніх моделей зон обслуговування Z , $Z_e, e = 1, 2, \dots, m_Z$.

L5. Формування моделей міри впорядкування ($ML_3; \xi_3$) і нечітких моделей показників складності операцій $W^e = \{W_z^e\}$.

L6. Формування та реалізація α -рівневих нечітких моделей процесів НУМПСО.

L7. Вимірювання оцінок порядку мульти-послідовностей $R(Z)$: за $R(Z) = 0$ завершення α -рівневого моделювання.

L8. Модель ($ML_5; \xi_5$) подає зміст утворення конструювання множини можливих операторів (процедур) перетворень зон Z_k . (Можливе паралельне виконання відповідно до (6) – (8)).

L9. Конструювання паралельними операторами ($ML_6; \xi_6$) нового шару графа розміток $G(Z)^{(k+1)}$.

L10. Перехід до етапу L6, або виконання процедур скаляризації нечітких величин результату, отриманих на основі α -рівневих нечітких моделей.

Процес конструювання задач НУМПСО відповідно до єдиної структури (4) подано за схемою L1 – L10. З урахуванням введення нечіткої «ваги» терміналів, які представляють складність операцій, а також індивідуальних моделей прогнозування вхідних послідовностей *in-seq* будують конструктивні моделі шарів для етапів L2 – L10.

Узагальнена блок-схема шару реалізації α -рівневої [3, 7] моделі – MLCPM(α) – багатозарової моделі (MLCPM) як складової процесів НУМПСО представлена на рис. 1. У цілому

MLCPM(α) відповідає (4). На рисунку відображені оператори конструювання, які можна виконувати паралельно, відповідно до (6) – (8).

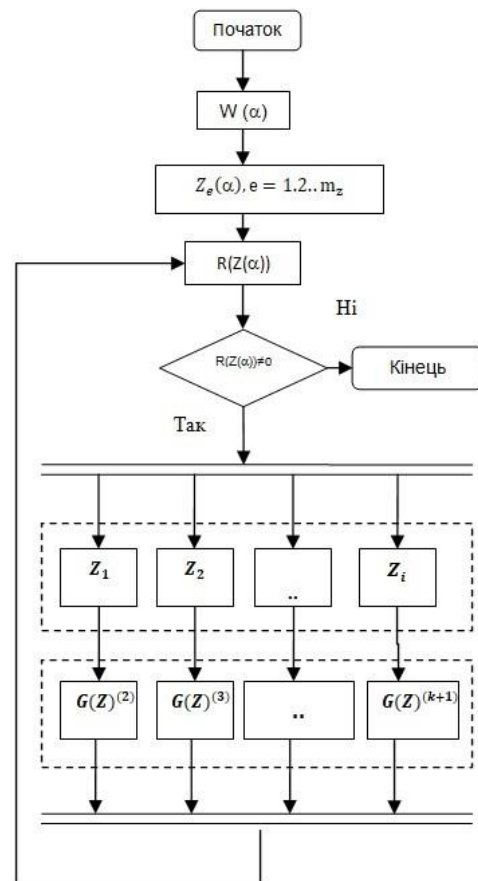


Рис. 1. Блок-схема α -рівневої моделі впорядкування – MLCPM(α)

Fig. 1. Block diagram of the α -level ordering model – MLCPM(α)

У значній мірі процедури реалізації наборів детермінованих задач УМПСО, які відповідають окремим α -рівням за MLCPM(α), рис. 1, за функціями подібні до MLCPM [4, 5]. Суттєва відмінність полягає в дискретизації нечітких величин задач НУМПСО шляхом формування відповідних детермінованих множин α -рівневих оцінок показників [3]. Наведені на рис. 1 набори процедур виконують такі функції: шар $W(\alpha)$ забезпечує формування оцінок «ваги» операцій конструювання на різних α -рівнях; наступний шар функцій виконує формування α -рівневих моделей для зон обслуговування та впорядкування мультипослідовнос-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

тей $Z_e, e=1,2,\dots,m_Z$. Контроль $R(Z(\alpha))$ закінчення процесу конструювання оптимального порядку елементів визначають оператори оцінювання міри порядку $R(Z(\alpha)) \neq 0$. Нарешті, процедури $MLCPM(\alpha)$ реалізують завдання α -рівневого моделювання процесу конструювання порядку НУМПСО.

На рис. 2 представлена узагальнена схема конструктивної моделі задач – НУМПСО. Окремі незалежні функції моделі реалізуються блоками – шарами комплексної моделі. Шар L_{in} реалізує всі функції отримання та контролю вхідних мультипослідовностей $L_{in}\{S(in-seq)\}$, відповідно до L1. Шар L_{out} забезпечує комплекс моделей класифікації нечітких даних та формування описів вихідних потоків, $L_{out}\{Q(out-seq), Q(pos-seq)\}$. Шар L_{prd} виконує процедури моделювання та прогнозування вхідних послідовностей, $L_{prd}\{FTS(in-seq), SpM(in-seq)\}$, отриманих $L_{in}\{S(in-seq)\}$. Процедури шару L_{FUZ} призначені для реалізації нечітких моделей НУМПСО за рахунок переходу до багаточисельних детермінованих моделей, які належать до різних α -рівневих оцінок параметрів нечітких характеристик $L_{FUZ}\{\text{Дискретні } \alpha - \text{рівні}, \alpha \in [0; 1]\}$. Шар $MLCPM(\alpha)$ реалізує задачі, представлені на рис. 1. Методи та процедури функціонального шару $\{V(X_*(\alpha))\}, X_*$ забезпечують узагальнення, скаляризацію результатів задач $MLCPM(\alpha)$, отриманих на різних α -рівнях дискретизації. Під час виконання умови $Cond(R(X_*))$ закінчення оптимізації процесів НУМПСО як результат отримуємо X_* .

Шар L2 моделей завдань НУМПСО L_{PRD} : (рис. 3) виконує процедури формування, аналіз нечітких FTS [8, 11, 12, 14, 18], а також сепарабельних SpM [4] моделей потоків $\{in-seq\}$. Для цього створюють шар функцій ведення Бази Даних вхідних потоків для мультипослідовностей, блок DB, $\{in-seq\}$. На основі інформації бази даних формують нечіткі моделі процесів $\{in-seq\}$, блок FTS, що забезпечує побудову та прогнозування окремих потоків $\{FTS_k\}$. Також за даними блока DB виконують формування сепарабельних моделей процесів SpM. Особливість цих моделей у тому, що на їх основі реалізують задачі аналізу, моделювання та прогнозування процесів із нерівномірним кроком між спостереженнями.

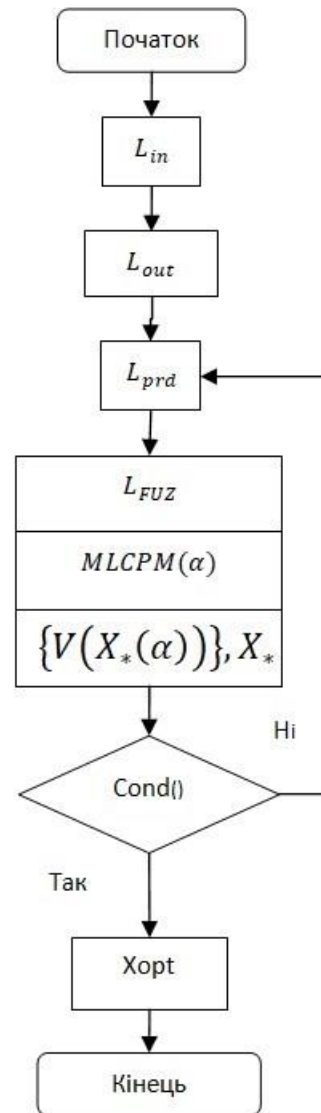


Рис. 2. Блок-схема FMLCPM

Fig. 2. Block diagram of FMLCPM

Моделі FTS та SpM для процесів $\{in-seq\}$ наведені в роботі далі. Процедури шару L2 (рис. 3) реалізують задачі моделювання $\{SpM_k, FTS_k\}$, а також формування результатів R_{ez} : $\{Vol_k, n_k, \Delta_k\}$.

Охарактеризуємо функції окремих шарів $MLCPM(\alpha)$ детальніше. Певні шари конструювання FMLCPM можуть мати представлення подібною до рис. 1 схемою.

Особливість шару уведення мультипослідовності даних L1 має полягає в тому, що набори атрибутів (a -order) елементів in -order можуть

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

бути неоднорідними (детерміновані, нечіткі та ін.). Конструктивні моделі формування нечітких вхідних *in-seq* та вихідних *out-seq* послідовних структур шару L2 реалізують спеціалізовані процедури нечіткої класифікації [1], за якими визначають потоки *out-seq*, а елементам установлюють (*pos-ind*), i_q .

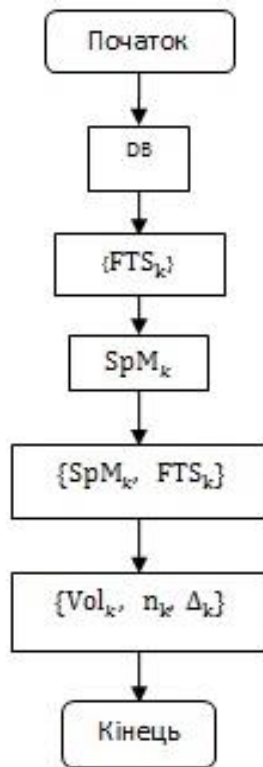


Рис. 3. Блок-схема шару моделювання L_{PRD}

Fig. 3. Block diagram of the simulation layer L_{PRD}

Моделі шару L3 забезпечують реалізацію важливої «технологічної» задачі з ухвалення рішень про закінчення процесів НУМПСО. Для цього шляхом аналізу та прогнозування обсягів надходження нечітких даних вхідних послідовностей *in-seq* визначають очікувані склад та обсяги даних вихідних *out-seq* структур за встановлений проміжок часу.

Під час формування параметрів шарів L4, L5 внутрішніх моделей зон обслуговування замовлень Z , $Z_e, e=1,2,\dots,m_z$, а також моделей міри впорядкування ($ML_3; \xi_3$) ураховують також нечіткі моделі для показників складності операцій упорядкування $W^e = \{W_z^e\}$ елементів замовлень.

В FMLCPM реалізацію нечітких задач НУМПСО виконують за допомогою шару L6. При цьому застосовують методи та процедури [3, 7], які дозволяють реалізувати нечіткі моделі шляхом дискретизації системи нечітких величин із використанням множин α -рівнів. Кожну з утворених під час дискретизації детермінованих моделей УМПСО реалізують засобами $MLCPM(\alpha)$, із подальшим узагальненням, скаляризацією [3] отриманої сукупності часткових результатів НУМПСО відповідно до L10.

Процедури шару L7, призначеного для вимірювання ступеня неупорядкованості мультипослідовностей $R(Z)$, використовують моделі статті [5], за якими під час виконання умови $R(Z)=0$ процедура закінчується. Для вимірювання $R(Z)$ використовують числові показники елементів (*pos-ind*), i_q . Для оцінки їх упорядкування як послідовності $\{(n_i < n_j, i < j), i=1,2,\dots,n\}$ цілих чисел, що мають зростати, використовують показник:

$$mes(L) = M_L(L) = \sum_{k=1}^n V_k; \quad (9)$$

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

Під час оцінювання зворотного, спадного, порядку використовують подібну до (9) характеристику, яка відповідає властивостям міри [4, 5] та ефективно забезпечує реалізацію моделей НУМПСО.

Процедури оптимального впорядкування конструюють усі можливі послідовності $L_Z = \{L_Z^{(j)}\}, j=1,2,\dots,m_L$, які відповідають правилам перетворення зон обслуговування $Z_l, l=1,2,\dots,m_z$. Шляхом спрямованого перебору формують множину L_Z , що містить оптимальні послідовності $L_Z^{(j)}$ замовлень, тобто з $\min(R(L_Z^0))$.

Моделі конструювання графа розміток $G(Z^{(k)})$, L8 та L9, забезпечують утворення множини всіх можливих операторів перетворень зон обслуговування Z_k (модель $ML_5; \xi_5$), а також формування чергового шару графа ро-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

зміток за допомогою відібраних операторів, модель ML_c [5]. Під час формування $G(Z^{(k)})$ використовують дані про склад зон $\{Z_l\}$, а також про число виконавців. Для вузлів графа $G(Z)$ виконують усі операції щодо їх перетворення, а також для всіх «нових» вузлів графа розраховують оцінки показників складності, використовуючи модель (9).

Ураховуючи кількість виконавців, які можуть реалізувати оператори формування вузлів графа $G(Z)$ незалежно, утворюють послідовності реалізації таких операцій для кожного з них. Перелічені вище процедури конструювання оптимального НУПСО можна формально виконати за допомогою паралельних структур (6) – (8).

Особливості моделей та процедур реалізації детермінованих MLCPM(α), у тому числі властивості методів вибору раціональних наборів операторів генерації вузлів графа $G(Z)$, разом із прикладами формування варіантів поділу зон $\{Z_l\}$ під час виконання операцій конструювання рішень, а також з оцінками мір (9) упорядкування мульти-послідовностей $R(Z)$, наведені в [5].

Дослідимо ключову задачу НУМПСО для процесів клінічного моніторингу щодо формування нечітких вхідних *in-seq*, вихідних *out-seq* послідовних структур, зі встановленням вимог до порядку (*pos-ind*), i_q , для елементів мульти-послідовностей. Для реалізації цієї задачі буде застосовувати процедури нечіткої класифікації [1].

Суттєва відмінність цих процесів моніторингу НУМПСО від детермінованих, наприклад розформування БГС, полягає в попередній відсутності у вхідних наборах (*in-seq*) однозначної впорядкованості елементів для цільових потоків (*out-seq*), тобто *pos*-індексів. У процесах НУПСО для елементів потоків (*in-order*) визначені атрибути, що можуть бути нечіткими величинами. Тому для всіх елементів додатково необхідно встановити класи цільових потоків (індекс *out-seq*) та показники впорядкованості. Це виконано шляхом аналізу (діагностування, класифікації тощо) наборів атрибутів (*a-order*) елементів (*in-order*) на основі моделі нечіткого діагностування та прогнозування.

Для діагностування характеристик елементів послідовностей *in-seq* із нечіткими та неоднорідними умовами невизначеності (статистичні, нечіткі та ін.) використано модель та процедуру [1], яка розвиває метод управління Такагі-Сугено [3]. Для нечітких величин процедура класифікації (НПК) складається з таких етапів:

– формування наборів нечітких параметрів *in-seq* (X), а також їх діагностованих станів (Y), які визначають терм-множини лінгвістичної змінної «Класи (*pos-ind*)»;

– формування для (X) моделей функцій належності терм-множинам станів (Y) лінгвістичної змінної «Класи-(*pos-ind*)»:

$$(\mu_1(x_i), \mu_2(x_i), \dots, \mu_l(x_i)), i = 1, 2, \dots; \quad (10)$$

– для кожної терм-множини $y_k \in (Y)$ встановлюють коефіцієнти відносної важливості (впливу) параметрів (X):

$$W^{(k)} = (w_{1k}, w_{2k}, \dots, w_{mk}, k = 1, 2, \dots, L),$$

$$\sum_j w_{jk} = 1; \quad (11)$$

– для значень набору параметрів *in-seq* (X) розраховують величини функцій належності для всіх терм-множини станів (Y) лінгвістичної змінної «Класи-(*pos-ind*)»:

$$(\mu_1(x_{i*}), \mu_2(x_{i*}), \dots, \mu_l(x_{i*})), \quad (12)$$

$$i = 1, 2, \dots, m;$$

– розраховувати показники результуючих терм-множин (станів (Y)) з урахуванням вагових коефіцієнтів (8):

$$V^{(k)} = \sum_i w_{ik} \times \mu_{ik}(x_{i*}), \quad k = 1, 2, \dots, l. \quad (13)$$

Величини $\{V^{(k)}\}_l$ (13) представляють узагальнені оцінки міри належності параметрів *in-seq* (X) до кожної терм-множини змінної «Класи-(*pos-ind*)». Результат класифікації ($k = 1, 2, \dots, l$) відповідає максимальному значенню (13):

$$V^{(rez)} = \max_k (V^{(k)}(Y)). \quad (14)$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Зауважимо, що процедура НПК (10) – (14) може бути застосована для класифікації множин даних, відмінних від нечітких. У цьому випадку в моделях (10), (12), (13) застосовують інші показники, що змістовно подібні до $\mu(x)$ та визначають нормовані до інтервалу $[0;1]$ характеристики достовірності параметрів *in-seq* (X). Наведена загальна процедура класифікації при цьому зберігається.

За наявності бази даних (рис. 3, DB) вхідних мультипослідовностей процесів клінічного моніторингу засобами моделі (10) – (14) також можна розв'язувати задачу класифікації черги *out-seq*, до якої необхідно віднести певні елементи наборів *in-seq*. Процедура класифікації НПК також дозволяє реалізувати задач з нечіткого прогнозування (періодів до подій, очікуваних рівнів контрольованих показників та ін.). Для таких розрахунків як класи діагностування параметрів (Y) формують відповідні терми лінгвістичних змінних, наприклад, ПЕРІОД («До 3 днів», «До 6 днів», ін.), або РІВЕНЬ (P_1, P_2, \dots). Результати класифікації відповідно до (13) – (14) дають найбільш достовірні оцінки нечітких періодів до подій або характеристик процесів, які відповідають наявній інформації.

Розглянемо питання розрахунків величин функцій належності $\mu(Y)$ для терм-множини станів (Y) (12) за нечітких параметрів *in-seq* (X), рис. 4. Під час моделювання процесів клінічного моніторингу прикладом таких параметрів може бути інтервал між контрольованими подіями тощо. На рис. 4 показані графічні моделі лінгвістичної змінної КРОК, побудованої з використанням стандартних процедур нечіткого моделювання [3].

Умовний приклад змінної КРОК має вигляд $S_\mu = (10\mu, 60\mu, 110\mu)$, містить три класи термів, достатніх для класифікації інтервалів контролю процесів моніторингу. Тут за допомогою символу « μ » позначені трикутні нечіткі величини [3, 7]. На рис. 4 наведено приклад із визначення класів та оцінок ступенів належності до них для детермінованого ($t_1(x)$) та нечіткого ($t_2^*(x)$) вхідного параметра.

За схемою рис. 4 параметри вхідних даних належать до нечітких термів із більшою величиною ступеня належності. Тобто $t_1(x)$ належить до класу 10μ , а нечіткий параметр $t_2^*(x)$ до класу 110μ . Отримані оцінки ступеня належно-

сті в подальшому використовують у процедурі НПК.

Наведені вище шари процедур FMLCPM (рис.1–3) забезпечують реалізацію всіх задач, що відрізняють задачі НУМПСО від детермінованих задач упорядкування мультипослідовностей, яким присвячено дослідження [5]. Тут специфічними задачами є врахування нечітких оцінок показників складності операцій формування, необхідність визначення вихідних класів для впорядкування задач, утворення індивідуальних нечітких моделей процесів надходження замовлень із різних джерел. Таким чином, загальна схема реалізації процесів НУПСО шляхом переходу до множин детермінованих задач упорядкування, із подальшим узагальненням окремих результатів оптимальних розрахунків, складається з наведеної вище системи моделей і методів розв'язання задач етапів L1 – L10.

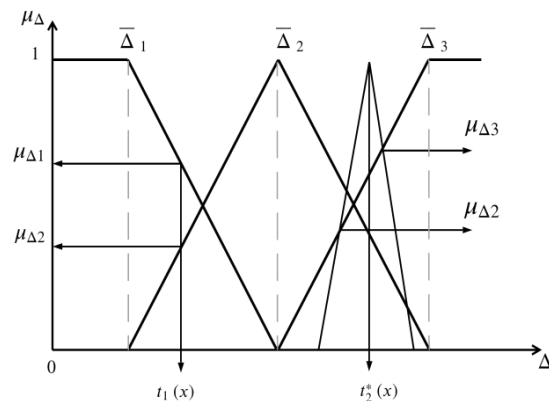


Рис. 4. Оцінювання функцій належності (класів) нечітких параметрів елементів *in-seq* (інтервалів контролю)

Fig. 4. Estimation of membership functions (classes) of fuzzy parameters of *in-seq* elements (control intervals)

Наукова новизна та практична значимість

У статті отримала розвиток постановка нової науково-прикладної задачі з планування сервісних систем шляхом формування комплексних конструктивних математичних моделей процесів упорядкування мультипослідовностей із нечіткими параметрами. Особливість недетермінованих задач НУМПСО встановлюють додаткові (щодо детермінованих) вимоги до нечітких процедур упорядкування, які передбачають урахування нечітких оцінок складності

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

операцій формування, потреби щодо визначення класів для впорядкування вихідних елементів, необхідність побудови індивідуальних нечітких моделей для процесів надходження замовлень із різних джерел. Для реалізації задач НУМПСО удосконалено комплексні багатопарові конструктивно-продукційні моделі. Розроблено багатопарові конструктивні моделі процесів упорядкування мультипослідовностей задач клінічного моніторингу захворювань із нечіткими параметрами.

Розроблені у статті комплексні моделі процесів НУМПСО є ефективними для формалізації задач аналізу та оптимального планування процесів клінічного моніторингу, а також широкого спектру інших задач моніторингу недетермінованих процесів транспорту, логістичних та сервісних систем.

Висновки

У статті запропоновано підхід до розв'язання задач аналізу та оптимального планування процесів клінічного моніторингу ліку-

вання хворих, представлених як управління потоками в сервісних системах в разі невизначеності. Для його формалізації та виконання розроблені комплексні багатопарові конструктивно-продукційні моделі упорядкування мультипослідовностей із нечіткими параметрами – НУМПСО. Моделі враховують нечіткі показники складності операцій формування рішень та існування індивідуальних нечітких моделей реабілітації для окремих клієнтів. Під час реалізації нечітких моделей процесів НУМПСО застосовують методи та модифіковані процедури детермінованих задач упорядкування мультипослідовностей, а також моделі та уніфіковані процедури класифікації, призначені для встановлення відносин порядку між замовленнями. Для аналізу індивідуальних моделей процесів реабілітації окремих клієнтів застосовують нечіткі моделі класу FTS, які утворюють за даними спостережень вхідних наборів задач НУМПСО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жуковицький І. В., Скалозуб В. В., Устенко А. Б., Клименко І. В. Формування інтелектуальних інформаційних технологій залізничного транспорту на основі моделей аналітичних серверів та онтологічних систем. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. № 6. С. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v0i6.151635>
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. *Характеристики Алгоритмы : построение и анализ*. Т. 2. Москва : Издательский дом «Вильямс», 2010. 1296 с.
3. Пегат А. *Нечеткое моделирование и управление*. Москва : БИНОМ, 2009. 798 с.
4. Скалозуб В. В., Білий Б. Б., Галабут О. О., Мурашов О. В. Методи інтелектуального моделювання процесів з перемінним інтервалом спостережень та конструктивного упорядкування «з вагою». *Системні технології*. 2020. Вип. 3 (128). С. 127–143. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-128-2020-12>
5. Скалозуб В. В., Ільман В. М., Білий Б. Б. Конструктивні багатопарові моделі для упорядкування послідовностей з урахуванням складності операцій формування. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. С. 61–76. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/213232>
6. Скалозуб В. В., Мурашов О. В. Моделювання даних процесів моніторингу при нерівномірних і нечітких інтервалах спостережень. *Системні технології*. 2021. Т. 4, № 135. С. 63–75. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-135-2021-14>
7. Яхьяева Г. Э. *Нечеткие множества и нейронные сети*. Москва : БИНОМ, 2012. 316 с.
8. Bernal J. L., Cummins S., Gasparini A. Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: a tutorial. *International Journal of Epidemiology*. 2017. Vol. 46. Iss. 1. P. 348–355. DOI: <https://doi.org/10.1093/ije/dyw0988>
9. Chen S. M. Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*. 1996. Vol. 81. Iss. 3. P. 311–319. DOI: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(95\)00220-0](https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00220-0)
10. Chen S.-M., Phuog B. D. Fuzzy time series forecasting based on optimal partitions of intervals and optimal weighting vectors. *Knowledge-Based Systems*. 2017. Vol. 118. P. 204–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2016.11.019>

11. Gao R., Duru O. Parsimonious fuzzy time series modeling. *Expert Systems With Applications*. 2020. Vol. 156. P. 113447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113447>
12. Koenker R. *Quantile Regression*. Cambridge University Press, 2005. pp. 137–143.
13. 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. Vol. 9. Iss. 1. P. 61–78. DOI: <https://doi.org/10.1080/23248378.2020.1732235>
14. Möller-Levet C. S., Klawonn F., Cho K.-H., Wolkenhauer O. Fuzzy Clustering of Short Time-Series and Unevenly Distributed Sampling Points. *Advances in Intelligent Data Analysis V*. 2003. P. 330–340. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-45231-7_31
15. Pardo-Iguzquiza E., Rodriguez-Tovar F. J. Spectral and cross-spectral analysis of uneven time series with the smoothed Lomb–Scargle periodogram and Monte Carlo evaluation of statistical significance. *Computers & Geosciences*. 2012. Vol. 49. P. 207–212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.06.018>
16. Shang Z., Li M. Feature Selection Based on Grouped Sorting. *2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*. 2016. P. 451–454. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCID.2016.1111>
17. 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. P. 655–662. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-014-9655-z>
18. Tahseen A. J., Aqil S. B., Cemal A. A New Quantile Based Fuzzy Time Series Forecasting Model. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 2008. Vol. 2, № 3. P. 995–1001.
19. Tricahya S., Rustam Z. Forecasting the Amount of Pneumonia Patients in Jakarta with Weighted High Order Fuzzy Time Series. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 546. Iss. 5. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/546/5/052080>
20. 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. P. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.4102/sajbm.v48i1.22>
21. 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>

V. V. SKALOZUB^{1*}, V. M. HORIACHKIN^{2*}, O. V. MURACHOV^{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. «Intelligent Power Supply Systems», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail vgora@ukr.net, ORCID 0000-0002-8952-952X

^{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 al.dp.ua@gmail.com, ORCID 0000-0003-1815-6508

Complex Models of Ordering Multi-Sequences with Fuzzy Parameters

Purpose. The aim of the article is to develop complex constructive mathematical models of ordering processes for multi-sequences of elements with fuzzy parameters. At the same time, the following requirements for fuzzy ordering of multi-sequences with complexity evaluation (FOMSCE) were established: accounting fuzzy estimates of the formation operations complexity, the need to define fuzzy classes for ordering the initial elements, as well as building individual fuzzy models for the processes of receiving orders from different sources. **Methodology.** To solve the problems of optimal planning of non-deterministic processes of clinical monitoring of the patients' treatment, the formation of complex constructive mathematical models of the processes of ordering multi-sequences of elements with fuzzy FMLCPM parameters was applied. For forming models of FOMSCE tasks, a methodology is used to create models with multilayer structures. To implement fuzzy problems, methods and procedures for discretizing a system of fuzzy quantities using sets of α -levels are applied. **Findings.** The article proposes an approach to solving the problems of analysis and optimal planning of the processes of clinical monitoring of the patients' treatment, represented as flow control in service systems under uncertainty. For its formalization and implementation, complex multilayer constructive-production models for ordering multi-sequences with fuzzy parameters have been

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

developed. **Originality.** The work has developed constructive-production methods for modeling complex systems, presented in the form of a multilayer model FMLCPM, which are designed for the processes of ordering multi-sequences of elements with fuzzy parameters. In FMLCPM, layer models are proposed that provide accounting for fuzzy estimates of the complexity of ordering operations, classification of fuzzy parameters of output elements, the formation and analysis of individual fuzzy models of the processes of receipt of orders in service systems. **Practical value.** The practical value of the results obtained lies in the spectrum development of applications of the problems of optimal planning of the processes in the service systems, presented as an ordering of multi-sequences with fuzzy parameters. The complex models of FOMSCE processes developed in the article are suitable and effective for formalizing the tasks of analysis and optimal planning of clinical monitoring processes, as well as a wide range of other tasks for monitoring non-deterministic transport processes, logistics and service systems.

Keywords: constructive modeling; multi-sequences; sequence ordering; multilayer models; fuzzy parameters; formation operations complexity; fuzzy classification; clinical monitoring; individual fuzzy process models

REFERENCES

1. Zhukovyts'kyi, I. V., Skalozub, V. V., Ustenko, A. B., & Klymenko, I. V. (2018). Formation of intelligent information technologies of railway transport based on models of analytical servers and ontological systems. *Information and control systems at railway transport*, 6, 3-11. DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v0i6.151635> (in Ukrainian)
2. Kormen, T., Leyzerson, Ch., Rivest, R., & Shtayn, K. (2010). *Kharakteristiki Algoritmy: postroenie i analiz* (Vol. 2). Moscow: Izdatelskiy dom «Vilyams». (in Russian)
3. Pegat, A. (2009). *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie*. Moscow: BINOM. (in Russian)
4. Skalozub, V., Biliy, B., Galabut, A., & Murashov, O. (2020). Methods of intelligent modeling of processes with a variable observation interval and constructive ordering «with weight». *System Technologies*, 3(128), 127-143. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-128-2020-12> (in Ukrainian)
5. Skalozub, V. V., Ilman, V. M., & Bilyy, B. B. (2020). Constructive multiplayer models for ordering a set of sequences, taking into account the complexity operations of formations. *Science and Transport Progress*, 4(88), 61-76. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/213232> (in Ukrainian)
6. Skalozub, V., & Murashov, O. (2021). Modeling of monitoring processes with uneven and fuzzy observation intervals. *System Technologies*, 4(135), 135-148. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-135-2021-14> (in Ukrainian)
7. Yakhyayeva, G. E. (2012). *Nechetkie mnozhestva i neyronnye seti*. Moscow: BINOM. (in Russian)
8. Bernal, J. L., Cummins, S., & Gasparrini, A. (2017). Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: a tutorial. *International Journal of Epidemiology*, 46(1), 348-355. DOI: <https://doi.org/10.1093/ije/dyw0988> (in English)
9. Chen, S.-M. (1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 81(3), 311-319. DOI: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(95\)00220-0](https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00220-0) (in English)
10. Chen, S.-M., & Phuong, B. D. H. (2017). Fuzzy time series forecasting based on optimal partitions of intervals and optimal weighting vectors. *Knowledge-Based Systems*, 118, 204-216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2016.11.019> (in English)
11. Gao, R., & Duru, O. (2020). Parsimonious fuzzy time series modelling. *Expert Systems with Applications*, 156, 113447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113447> (in English)
12. Koenker, R. (2005). *Quantile Regression* (pp. 137-143). Cambridge University Press. (in English)
13. 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*, 9(1), 61-78. DOI: <https://doi.org/10.1080/23248378.2020.1732235> (in English)
14. Möller-Levet, C. S., Klawonn, F., Cho, K.-H., & Wolkenhauer, O. (2003). Fuzzy Clustering of Short Time-Series and Unevenly Distributed Sampling Points. *Advances in Intelligent Data Analysis V*, 330-340. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-45231-7_31 (in English)
15. Pardo-Igúzquiza, E., & Rodríguez-Tovar, F. J. (2012). Spectral and cross-spectral analysis of uneven time series with the smoothed Lomb-Scargle periodogram and Monte Carlo evaluation of statistical significance. *Computers & Geosciences*, 49, 207-216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.06.018> (in English)
16. Shang, Z., & Li, M. (2016). Feature Selection Based on Grouped Sorting. *2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)* (pp. 451-454). DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCID.2016.1111> (in English)

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

17. 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)
18. Tahseen, A. J., Aqil, S. B., & Cemal, A. (2008). A New Quantile Based Fuzzy Time Series Forecasting Model. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 2(3), 995-1001. (in English)
19. Tricahya, S., & Rustam, Z. (2019). Forecasting the Amount of Pneumonia Patients in Jakarta with Weighted High Order Fuzzy Time Series. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 546, Iss. 3, pp. 1-10). DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/546/5/052080> (in English)
20. 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)
21. Zhukovyts'kyu, 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: 13.11.2020

Прийнята до друку: 12.03.2021