

С. Ф. Чалий, д. т. н., проф.; І. В. Левикін, к. т. н., доц.

## МЕТОД ПОБУДОВИ ІНТЕРВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ У СКЛАДІ ПРЕЦЕДЕНТУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЖУРНАЛУ ПОДІЙ

*Запропоновано метод побудови інтервальної моделі процесу розв'язування задачі як складника прецеденту на основі аналізу журналу подій процесної інформаційної системи. Метод містить у собі етапи визначення інтервалів подій логі, що відповідають діям процесу, виділення множин послідовних, паралельних та незалежних інтервалів подій, а також побудови інтервальної моделі процесу шляхом об'єднання цих множин. На відміну від сучасних підходів, ознаки послідовного та паралельного виконання визначають не для окремих подій, а для інтервалів подій, що дозволяє відобразити в моделі не стани, а дії процесу з урахуванням тривалості виконання цих дій. Використання інтервальної моделі в межах прецедентного підходу дозволяє вибрати прецедент на основі оцінки часу розв'язування задачі.*

**Ключові слова:** прецедент, бізнес-процес, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління.

### Вступ

Прецедентний підхід (Case-based reasoning, CBR) направлений на використання існуючого досвіду для розв'язання нових задач [1]. Досвід розв'язання задач структурується у вигляді прецеденту [2, 3]. Прецедент містить у собі характеристику задачі, а також опис процесу її розв'язання [4]. Реалізація CBR-підходу передбачає пошук та адаптацію прецеденту, його застосування, а також збереження прецеденту для подальшого використання [1, 3].

Використання прецедентного підходу є особливо актуальним під час розв'язання задач орієнтованого на процес керування підприємством. Цикл управління орієнтованого на процес, складається з етапів розробки, удосконалення та конфігурування моделей бізнес-процесів, а також керування підприємством за допомогою бізнес-процесів. Бізнес-процес містить у собі алгоритм дій розв'язання функціональної задачі з урахуванням ресурсних можливостей. Використання прецедентного підходу в межах процесного управління створює можливості для ефективного тиражування та вдосконалення бізнес-процесів.

Однак питання розробки загального підходу до побудови прецедентів у вигляді послідовності взаємопов'язаних дій з урахуванням часового аспекту розроблені недостатньо. Зазначене свідчить про актуальність теми цієї роботи.

### Аналіз досліджень та публікацій

Під час розв'язання задач орієнтованого на процес управління використовують процесні інформаційні керівні системи. Такі системи підтримують процеси розв'язання функціональних задач і фіксують виконання процесів у журналі реєстрації подій [5].

Сучасні методи та інструментальні засоби інтелектуального аналізу процесів (process mining) призначені для побудови моделей таких процесів шляхом виділення причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що містяться в журналі реєстрації подій інформаційної керівної системи [6]. Методи аналізу процесів призначені для побудови дискретних моделей, що формалізуються за допомогою математичних апаратів мереж Петрі, темпоральних модальних логік, процесної алгебри [6, 7]. Моделі, що формуються в результаті використання таких методів, визначають послідовність розв'язання задачі, але не враховують тривалість окремих дій, що не дозволяє розв'язати задачу пошуку та відбору прецеденту для задач процесного управління з урахування тривалості процесу.

## Постановка задачі

**Метою статті** є розробка методу побудови моделі процесу розв'язання задачі у складі прецеденту з інтервальним представленням часу. Інтервальне представлення часу дозволяє порівнювати прецеденти за тривалістю розв'язання задачі, також відрізнити інтервали виконання дій та очікування ресурсів.

Практична цінність побудови моделі з інтервальним представленням часу полягає в тому, що під час паралельного виконання декількох процесів вона дозволяє виділити фрагменти різних процесів, що конкурують за доступ до ресурсів, та організувати такий доступ з мінімальними затримками часу.

Об'єктом цього дослідження є процеси розв'язання задачі з інтервальним представленням часу. Такий процес характеризується алгоритмом виконання дій розв'язання задачі, а також темпоральною характеристикою дій процесу.

Для досягнення мети дослідження необхідно розв'язати такі задачі:

- визначення ознак послідовного, паралельного та незалежного виконання дій в журналі реєстрації подій процесу;
- розробку методу побудови інтервальної моделі процесу розв'язання задачі у складі прецеденту на основі аналізу послідовностей подій.

### Метод побудови інтервальної моделі на основі аналізу журналу подій

Вхідними даними для методу побудови інтервальної моделі є події, що відображують виконання процесу розв'язання задачі в минулому та містять в журналі реєстрації подій.

Журнал реєстрації подій формує інформаційна керівна система для кожного процесу розв'язання функціональних задач, він містить записи про послідовність дій процесу. Іншими словами, журнал містить у собі інформацію про прецеденти розв'язання задач, які контролює інформаційна система.

Кожна подія відображує в журналі відповідну дію процесу. Особливістю таких журналів є те, що події для кожного процесу записують у хронології після виконання дій. Послідовність подій, що фіксує виконання одного процесу від початку до кінця, є трасою процесу. Формально журнал реєстрації подій має таку структуру:

$$\begin{aligned} \Pi &= \{ \pi_k \}, k = \overline{1, K} \\ \pi_k &= \langle E_k, \succ \rangle \\ E_k &= \{ e_{k,i} \} \\ e_{k,i} \succ e_{k,j} &\Leftrightarrow e_{k,i} N e_{k,j} \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\Pi$  – журнал реєстрації подій;  $\pi_k$  –  $k$  – траса процесу;  $E_k$  – множина подій на трасі процесу;  $e_{k,i}$  –  $i$  – подія траси  $\pi_k$ ;  $\succ$  – відношення переходу;  $N$  – оператор Next темпоральної логіки.

Наявність відношення переходу  $\succ$  між двома подіями  $e_{k,i}$  та  $e_{k,j}$  означає, що між ними немає проміжних подій, тобто  $e_{k,i} N e_{k,j}$ .

Реалізацію журналу реєстрації подій у багатьох випадках виконують у стандарті XES, що задає xml-схему для опису послідовності виконання бізнес-процесів. Структуру вхідних даних у цьому стандарті представлено на рис. 1.

```

<log>
  Визначення змінних та атрибутів логу
  <trace>
    Множина атрибутів траси
    <event>
      Множина атрибутів події
    </event>
    ...
    <event>
      Перелік атрибутів події
    </event>
  </trace>
  ...
  <trace>
    ...
  </trace>
</log>

```

Рис. 1. Структура вхідних даних методу

Із рис. 1 видно, що траси визначають парою `<trace>` та `</trace>`, а події парою `<event>` та `</event>`. Кожну подію характеризує множина атрибутів, наприклад: час виникнення події; шифр або назва дії, яка зафіксована подією, стан дії, назва підрозділу, ім'я виконавця тощо.

Під час побудови моделі процесу розв'язання задачі необхідно зіставляти одні й ті ж події в різних трасах логу. Однак події в журналі, як правило, не мають ідентифікатора. Вони характеризуються множиною атрибутів та їхніх значень. Множину атрибутів для опису подій задають на рівні логу, як видно з рис. 1. Для різних процесів перелік атрибутів подій відрізняється, тому присвоєння унікальних ідентифікаторів подіям необхідно виконувати окремо для кожного логу, тобто ця задача є інженерною.

Надалі будемо вважати, що у вхідних даних методу кожна унікальна подія має свій ідентифікатор. Такий ідентифікатор дозволяє встановити еквівалентність подій, записаних на різних трасах логу.

Наведена формалізація елементів журналу подій дозволяє визначити інтервал виконання дій. Такий інтервал повинен мати як мінімум дві події, що відображають початок дії (або завершення попередньої операції) та завершення дії. Тоді інтервал виконання дії на трасі процесу – це дві дії, пов'язані між собою відношенням переходу:

$$\alpha_{k,ij} = [e_{k,i}, e_{k,j}] | e_{k,i} \succ e_{k,j}, \quad e_{k,i}, e_{k,j} \in \pi_k, \quad (2)$$

де  $\alpha_{k,ij}$  – інтервал між граничними подіями  $e_{k,i}$  та  $e_{k,j}$  на трасі  $\pi_k$ .

Якщо дія процесу складається з множини елементарних операцій, то вона може бути записана в журналі у вигляді послідовності з декількох подій. Відповідності між множиною подій журналу та дією процесу визначають з урахуванням значень атрибутів події [8]. Указані атрибути фіксують стан дії, а також об'єктів, які використовують під час виконання відповідної дії. Зазвичай у таких процесах події логу мають атрибути «назва дії» та «стан дії». Зазначені атрибути дозволяють виділити підмножину подій, що відповідає одній дії процесу, тому що назва дії для цієї підмножини подій буде однаковою, а стан – мати різні значення. Наприклад, дія «прийом замовлень на обслуговування» в журналі фірми з сервісного обслуговування може мати такі стани: очікування; обслуговування; виконано.

У тому випадку, якщо одній дії відповідають декілька подій, то граничну пару подій  $e_{k,i}$  та  $e_{k,j}$  задають через транзитивне замикання на відношенні переходу:

$$\alpha_{k,ij} = [e_{k,i}, e_{k,j}] | e_{k,i} \succ e_{k,j}. \quad (3)$$

У цьому випадку між подіями  $e_{k,i}$  та  $e_{k,j}$  існують проміжні події, які відповідають тій же дії, тобто  $e_{k,i} > e_{k,j} \Leftrightarrow e_{k,i} \succ \dots \succ e_{k,j}$ .

Тривалість інтервалу подій на трасі визначають через різницю часу виникнення граничних подій відповідної дії:

$$\Delta\tau_{k,ij} = \tau_{k,j} - \tau_{k,i}, \quad (4)$$

де  $\tau_{k,i}$  – час виникнення події  $e_{k,i}$ ;  $\tau_{k,j}$  – час виникнення події  $e_{k,j}$ .

Головною ідеєю методу побудови інтервальної моделі є визначення відношень послідовного, паралельного або незалежного виконання між окремими діями процесу, або групами таких дій. Цей підхід є розвитком  $\alpha$ -алгоритму, у якому подібні відношення задають для подій журналу [6, 7].

Під час побудови інтервальної моделі відношення між діями задають в аспекті часу, що визначає правомірність використання темпоральної модальної логіки для опису таких відношень. Зазначимо, що логічний опис моделі забезпечує можливість її подальшої верифікації у відповідності до парадигми ModelChecking.

У подальшій формалізації використовуються темпоральні оператори  $N$ , який визначає послідовне виконання дій (подій) одна за одною, а також  $F$ , який визначає послідовне виконання з проміжними подіями (діями).

Визначимо інтервал подій, що відображає виконання однієї й тієї ж дії на різних трасах процесу так:

$$\alpha_{ij} = [\{e_{k,i}, e_{k,j}\}] \Leftrightarrow \forall \pi_k (e_{k,i} N e_{k,j} \vee e_{k,i} F e_{k,j}) \mid \exists (e_{k,i}, e_{k,j} \in E_k), \quad (5)$$

де  $\alpha_{ij}$  – інтервал подій для різних трас процесу,  $E_k$  – множина подій траси  $\pi_k$ .

Із виразу (5) видно, що ознакою інтервалу подій є наявність упорядкованих пар  $e_{k,i} \succ e_{k,j}$  або  $e_{k,i} \succ e_{k,j}$  для трас  $\pi_k$ , що містять події  $e_{k,i}$  та  $e_{k,j}$ .

Під час прогнозування часу виконання процесу розв'язання задачі у складі прецеденту зазвичай дають максимальну та мінімальну оцінки. Максимальна оцінка тривалості інтервалу  $\alpha_{ij}$ , визначеного на всіх трасах журналу, має такий вигляд:

$$\Delta\tau_{ij}^{\max} = \max_k (\Delta\tau_{k,ij}), \quad (6)$$

де  $\Delta\tau_{ij}^{\max}$  – максимальна оцінка тривалості інтервалу  $[e_{k,i}, e_{k,j}]$  для всіх трас  $\pi_k$ .

Мінімальну оцінку визначають аналогічно виразу (6).

Визначення інтервалу подій (5) дозволяє формалізувати ознаку послідовного виконання дій як послідовності інтервалів подій. Концептуально, якщо дії відбуваються послідовно, то між відповідними інтервалами не повинно бути проміжних подій. Тоді послідовне виконання фіксують на відповідних трасах процесу у вигляді послідовних інтервалів  $\alpha'$  та  $\alpha''$  таким чином:

$$\alpha' N \alpha'' \Leftrightarrow \alpha' = [e_{k,i}, e_{k,j}] \Rightarrow \alpha'' = [e_{k,j}, e_{k,l}] \mid \exists (e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l} \in E_k), \quad (7)$$

де  $e_{k,j}$  – загальна гранична подія для обох інтервалів,  $E_k$  – множина подій траси  $\pi_k$ .

У відповідності до (7) за послідовного виконання дій остання гранична подія попереднього інтервалу  $\alpha'$  на всіх трасах процесу, де існують ці інтервали, є першою граничною подією наступного інтервалу  $\alpha''$ .

Дії процесу можуть виконуватися послідовно, але із проміжком між ними. Така ситуація часто виникає, коли обробкою процесу займаються виконавці з різних рівнів організаційної ієрархії. Наприклад, після прийому заказу на сервісне обслуговування виконавець може

чекати згоди керівника на закупівлю комплектувальних у обраної фірми.

Послідовне виконання пари дій процесу з проміжними діями визначають через інтервали подій  $\alpha'$  та  $\alpha''$  таким чином:

$$\begin{aligned} \alpha' F \alpha'' &\Leftrightarrow \\ \alpha' = [e_{k,i}, e_{k,j}] \wedge \alpha'' = [e_{k,l}, e_{k,m}] &\Rightarrow \alpha''' = [e_{k,j}, e_{k,l}] \mid \exists (e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}, e_{k,m} \in E_k), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $\alpha'''$  – проміжний інтервал між інтервалами  $\alpha'$  та  $\alpha''$ ,  $e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}, e_{k,m}$  – події, що належать до однієї траси процесу,  $E_k$  – множина подій траси  $\pi_k$ .

Тривалість виконання пари дій  $\alpha'$  та  $\alpha''$  дорівнює сумарній тривалості виконання дій  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  та  $\alpha'''$ .

Розглянемо дві типові ситуації, у яких виникає паралельна або незалежна обробка: розділення та об'єднання робіт. У першому випадку два інтервали повинні мати загальну першу граничну подію, а в другому – загальну останню подію.

Визначимо відношення розділення *split* між інтервалами таким чином:

$$\begin{aligned} \alpha' \text{ split } \alpha'' &\Leftrightarrow \\ \alpha' = [e_i, e_j] \wedge \alpha'' = [e_i, e_m] &\mid \exists (e_i, e_j, e_m \in E), E = \bigcup_k E_k, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  – інтервали, що на різних трасах мають однакову початкову та різні кінцеві граничні події,  $E$  – множина всіх подій журналу.

Відношення об'єднання *join* визначають для інтервалів, що мають однакову кінцеву та різні початкові граничні події на різних трасах процесу:

$$\begin{aligned} \alpha' \text{ join } \alpha'' &\Leftrightarrow \\ \alpha' = [e_i, e_j] \wedge \alpha'' = [e_l, e_j] &\mid \exists (e_i, e_j, e_l \in E), \end{aligned} \quad (10)$$

де  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  – інтервали, що на різних трасах мають однакову кінцеву та різні початкові граничні події,  $E$  – множина всіх подій журналу.

Для того, щоб розрізнити паралельне та незалежне виконання, необхідно формалізувати ознаку паралельності. Концептуально, паралельність дій процесу означає, що в журналі існує щонайменше пара трас, у яких ці дії записані у зворотному порядку:

$$\alpha' \parallel \alpha'' \Leftrightarrow \alpha' = \exists [e_{k,i}, e_{k,j}] \wedge [e_{s,j}, e_{s,i}] \mid e_{k,i}, e_{k,j} \in E_k, e_{s,j}, e_{s,i} \in E_s, s \neq j, \quad (11)$$

де  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  – інтервали на трасах у журналі, що відповідають паралельним діям процесу;  $E_k$ ,  $E_s$  – множини подій різних трас процесу.

Застосовуючи метод побудови інтервальної моделі процесу розв'язання задачі у складі прецеденту, використовують наведені вище ознаки послідовного та паралельного виконання дій.

Метод складається з таких етапів.

**Етап 1.** Побудова множини  $A$  інтервалів подій  $\alpha_{ij}$  для всіх трас процесу відповідно до виразу (5).

Необхідною умовою для виконання цього етапу є присвоєння унікальних ідентифікаторів кожній унікальній події. Як було зазначено вище, кожна подія однозначно може бути визначена через множину атрибутів та їхніх значень, унікальних для кожного процесу.

Для зручності перепишемо вираз (5) у більш короткій формі, яка показує кількість повторів кожного інтервалу на трасах журналу:

$$A = \{ \alpha_{ij} \}, \alpha_{ij} = [e_i, e_j]^{f_{e_{k,i}, e_{k,j}}}, \quad (12)$$

де  $A$  – множина всіх інтервалів подій у журналі;  $e_i, e_j$  – граничні події інтервалу без визначення траси, до якої вони належать;  $e_i, e_j$  – граничні події інтервалу на трасі  $\pi_k$ ;  $|\{e_{k,i}, e_{k,j}\}|$  – кількість повторів інтервалу подій.

Під час розв'язання задачі оцінки тривалості процесу на цьому етапі множину інтервалів доповнюють значеннями тривалості інтервалів:  $A' = \{\alpha_{ij}, \tau_{ij}\}$ .

**Етап 2.** Побудова підмножини інтервалів подій, що відображають пари послідовних дій процесу відповідно до ознаки (7).

Множину пар послідовних інтервалів подій також визначимо з урахуванням кількості їх у журналі:

$$A^N = \{ \alpha' N \alpha'' \} = \{ [e_i, e_j], [e_j, e_l] \}^{|\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\}|} \{ |\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\}| > 1 \}, \quad (13)$$

де  $A^N$  – підмножина пар послідовних інтервалів;  $e_i, e_j, e_l$  – граничні події послідовних інтервалів;  $e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}$  – граничні події послідовних інтервалів із визначенням траси;  $e_j$  – гранична подія, що належить обома інтервалам.

Обмеження  $|\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\}| > 1$  показує, що послідовність дій повинна повторюватись, тобто бути зафіксована щонайменше на двох трасах лога.

Очевидно, що тривалість пари послідовних інтервалів подій становить суму часу виконання окремих інтервалів.

**Етап 3.** Побудова підмножини інтервалів подій, що відображають пари паралельних дій: роз'єднання (14) та з'єднання (15) відповідно до наведених вище ознак:

$$A^{split} = \{ \alpha' \parallel \alpha'' \}_{split} = \{ ([e_i, e_j], [e_i, e_m]) \}^{|\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,m}\}|}, \quad (14)$$

$$A^{join} = \{ \alpha' \parallel \alpha'' \}_{join} = \{ ([e_i, e_j], [e_l, e_j]) \}^{|\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\}|}. \quad (15)$$

**Етап 4.** Побудова набору  $A^\#$  підмножин інтервалів подій, що відображають пари незалежних дій процесу, для яких не виконується умова (11). На цьому етапі формують множини  $A^{#split}$  та  $A^{#join}$  аналогічно етапу 3.

**Етап 5.** Формування інтервальної моделі шляхом установлення зв'язків між інтервалами подій з множин  $A^N$ ,  $A^{split}$ ,  $A^{join}$ ,  $A^{#split}$ ,  $A^{#join}$ . Зв'язок між інтервалами встановлюється у випадку збігу граничних подій в обох інтервалах.

**Етап 6.** Доповнення моделі транзитивними послідовними інтервалами відповідно до ознаки (7). На цьому етапі в моделі визначають такі пари послідовних дій, між якими є проміжні дії. Це дозволяє під час подальшого аналізу знайти «вузькі місця» процесу, що призводять до затримок виконання.

**Етап 7.** Доповнення моделі часовими оцінками інтервалів подій. Це дозволяє шляхом складання тривалості інтервалів для різних маршрутів моделі зробити оцінку тривалості розв'язання задачі. Указану оцінку використовують під час вибору прецеденту в задачах Case-based reasoning.

Проілюструємо реалізацію п'яти базових етапів методу на прикладі журналу подій, що складається з двох трас. У якості ідентифікатора подій використовуватимемо латинські букви. Трасу представимо у вигляді кортежу з ідентифікаторів подій.

Вхідний лог має такі траси:

$\{ \langle a, b, c, f, k, g, h, i, j \rangle, \langle a, d, e, f, k, g, i, h, j \rangle \}$ .

Для ілюстрації результатів виконання етапів методу обидві траси були об'єднані та представлені у вигляді графу на рис. 2.

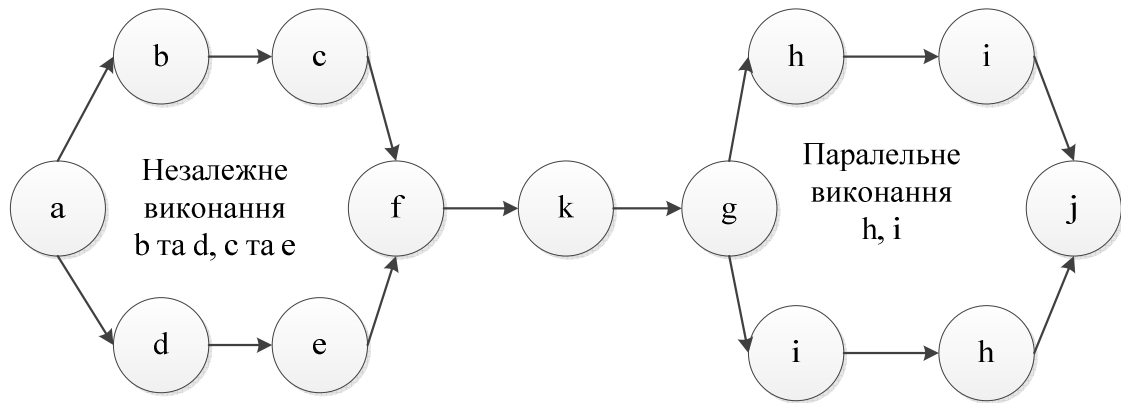


Рис. 2. Об'єднання подій для двох трас процесу

**Результати етапу 1:** множина інтервалів  $A = \{ [a, b], [a, d], [b, c], [d, e], [c, f], [e, f], [f, k], [k, g], [g, h], [g, i], [h, i], [i, h], [i, j], [h, j] \}$ .

**Результати етапу 2:** пари послідовних інтервалів  $A^N = \{ ([f, k], [k, g])^2 \}$ . Маємо лише одну пару послідовних інтервалів, оскільки в цьому випадку  $\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\} > 1$ .

**Результати етапу 3:** пари паралельних інтервалів  $A^{split} = \{ ([g, h], [g, i]) \}$  та  $A^{join} = \{ [i, j], [h, j] \}$ .

Зазначимо, що для ілюстративного прикладу на цьому етапі ми не враховували кількість повторень, тому що в журналі лише дві траси, у кожній із яких записано по одному варіанту паралельного виконання.

**Результати етапу 4:** пари незалежних інтервалів  $A^{#split} = \{ [a, b], [a, d] \}$  та  $A^{#join} = \{ [c, f], [e, f] \}$ .

**Результати етапу 5:** послідовне об'єднання підмножин інтервалів  $A^N$ ,  $A^{split}$ ,  $A^{join}$ ,  $A^{#split}$ ,  $A^{#join}$  на основі граничних подій, які збігаються, у єдину інтервальну модель:

- об'єднання  $A^N$  та  $A^{split}$ :  $\{ ([f, k], [k, g]), ([k, g], [g, h]), ([k, g], [g, i]) \}$ ;
- об'єднання  $A^N$  та  $A^{join}$ : немає граничних подій, які збігаються;
- об'єднання  $A^{split}$  та  $A^{join}$ :  $\{ ([g, i], [i, j]), ([g, h], [h, j]) \}$ .

Об'єднання інших підмножин виконують аналогічно.

## Висновки

Виконано аналіз структури журналу реєстрації подій та визначено ознаки послідовного, паралельного та незалежного виконання подій процесу через відношення між інтервалами подій журналу, що відображають виконання дій процесу.

Запропоновано метод побудови інтервальної моделі процесу розв'язання задачі у складі прецеденту на основі аналізу журналу подій. Метод складається з етапів визначення інтервалів подій логу, що відповідають діям процесу, виділення множин послідовних, паралельних і незалежних інтервалів подій, а також побудови інтервальної моделі процесу шляхом об'єднання цих множин.

Метод розвиває ідеї побудови дискретної моделі процесу, що були представлені в  $\alpha$ -алгоритмі інтелектуального аналізу процесів. На відміну від сучасних підходів, ознаки послідовного та паралельного виконання визначають не для окремих подій, а для інтервалів подій, що дозволяє відобразити в моделі не стани, а дії процесу з урахуванням тривалості

виконання цих дій.

Використання інтервальної моделі в межах прецедентного підходу дозволяє можливість вибрати прецедент на основі оцінки часу розв'язання задачі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Watson I. Case-based reasoning is a methodology not a technology / I. Watson // Knowledge-based systems. – 1999. – № 12. – P. 303 – 308.
2. Николайчук О. А. Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем / О. А. Николайчук, А. Ю. Юрин // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 5. – С. 3 – 12.
3. Aamodt A. Case-Based Reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches / A. Aamodt, E. Plaza // AI Communications. – 1994. – № 7 (1). – P. 39 – 59.
4. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Ф. Люгер. – М. : Вильямс, 2003. – 864 с.
5. Weske M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures / M. Weske. [2<sup>nd</sup> edition]. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. – 403 p.
6. Van der Aalst W. M. P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. Van der Aalst. – Springer Berlin Heidelberg, 2011. – 352 p.
7. Van der Aalst W. M. P. Process Mining in the Large: A Tutorial / W. M. P. Van der Aalst // Business Intelligence. – 2014. – Vol. 172. – P. 33 – 76.
8. Чалый С. Ф. Выявление интервалов ожидания в бизнес-процессах на основе анализа последовательностей событий / С. Ф. Чалый, И. В. Левыкин // Технологический аудит и резервы производства, 2016. – № 5/2 (31). – С. 71 – 76.

**Чалый Сергій Федорович** – д. т. н., професор, професор кафедри інформаційних управляючих систем, e-mail: serhii.chalyi@nure.ua.

**Левикін Ігор Вікторович** – к. т. н., доцент, професор кафедри медіасистем і технологій, e-mail: ihor.levykin@nure.ua.

Харківський національний університет радіоелектроніки.