

**С. Ф. Чалый, д. т. н., проф.; И. В. Левикин, к. т. н., доц.**

## **МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ В СОСТАВЕ ПРЕЦЕДЕНТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЖУРНАЛА СОБЫТИЙ**

*Предложен метод построения интервальной модели процесса решения задачи как составляющей прецедента на основе анализа журнала событий процессной информационной системы. Метод включает в себя этапы определения интервалов событий лога, соответствующих действиям процесса, выделение множеств последовательных, параллельных и независимых интервалов событий, а также построение интервальной модели процесса путем объединения этих множеств. В отличие от существующих подходов, признаки последовательного и параллельного выполнения определяют не для отдельных событий, а для интервалов событий, что позволяет отразить в модели не состояния, а действия процесса с учетом продолжительности выполнения этих действий. Использование интервальной модели в рамках прецедентного подхода позволяет выбрать прецедент на основе оценки времени решения задачи.*

**Ключевые слова:** прецедент, бизнес-процесс, интеллектуальный анализ процессов, процессное управление.

### **Введение**

Прецедентный подход (Case-based reasoning, CBR) направлен на использование существующего опыта для решения новых задач [1]. Опыт решения задач структурируется в виде прецедента [2, 3]. Прецедент содержит в себе характеристику задачи, а также описание процесса ее решения [4]. Реализация CBR-подхода предусматривает поиск и адаптацию прецедента, его применение, а также сохранение прецедента для дальнейшего использования [1, 3]. Использование прецедентного подхода является особенно актуальным при решении задач ориентированного на процесс управления предприятием. Цикл управления ориентированного на процесс, включает этапы разработки, усовершенствования и конфигурации моделей бизнес-процессов, а также управления предприятием с помощью бизнес-процессов. Бизнес-процесс содержит в себе алгоритм действий по решению функциональной задачи с учетом ресурсных ограничений. Использование прецедентного подхода в рамках процессного управления создает возможности для эффективного тиражирования и усовершенствования бизнес-процессов.

Однако вопросы разработки общего подхода к построению прецедентов в виде последовательности взаимосвязанных действий с учетом временного аспекта разработаны недостаточно. Изложенное свидетельствует об актуальности темы данной работы.

### **Анализ исследований и публикаций**

При решении задач ориентированного на процесс управления используют процессные информационные управляющие системы. Такие системы поддерживают процессы решения функциональных задач и фиксируют выполнение процессов в журнале регистрации событий [5]. Современные методы и инструментальные средства интеллектуального анализа процессов (process mining) предназначены для построения моделей таких процессов путем выделения причинно-следственных связей между событиями, которые содержатся в журнале регистрации событий информационной управляющей системы [6]. Методы анализа процессов предназначены для построения дискретных моделей, которые формализуются с помощью математических аппаратов сетей Петри, темпоральной модальной логики, процессной алгебры [6, 7]. Модели, формирующиеся в результате использования таких

методов, определяют последовательность решения задачи, но не учитывают длительность отдельных действий, что не позволяет решить задачу поиска и отбора прецедента для задач процессного управления с учетом продолжительности процесса.

### Постановка задачи

**Целью статьи** является разработка метода построения модели процесса решения задачи в составе прецедента с интервальным представлением времени. Интервальное представление времени позволяет сравнивать прецеденты по продолжительности решения задачи, также различать интервалы выполнения действий и ожидания ресурсов.

Практическая ценность построения модели с интервальным представлением времени заключается в том, что при параллельном выполнении нескольких процессов она позволяет выделить фрагменты разных процессов, конкурирующих за доступ к ресурсам, и организовать такой доступ с минимальными задержками времени.

Объектом данного исследования являются процессы решения задачи с интервальным представлением времени. Такой процесс характеризуется алгоритмом выполнения действий по решению задачи, а также темпоральной оценкой действий процесса.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- определение признаков последовательного, параллельного и независимого выполнения действий в журнале регистрации событий процесса;
- разработку метода построения интервальной модели процесса решения задачи в составе прецедента на основе анализа последовательностей событий.

### Метод построения интервальной модели на основе анализа журнала событий

Исходными данными для метода построения интервальной модели являются события, которые отображают выполнение процесса решения задачи в прошлом и содержатся в журнале регистрации событий.

Журнал регистрации событий формирует информационная управляющая система для каждого процесса решения функциональных задач, он содержит записи о последовательности действий процесса. Другими словами, журнал содержит в себе информацию о прецедентах решения задач, выполненных под управлением информационной системы.

Каждое событие отображает в журнале соответствующее действие процесса. Особенностью таких журналов является то, что события для каждого процесса записывают в хронологии после выполнения действий. Последовательность событий, фиксирующая выполнение одного процесса от начала до конца, является трассой процесса. Формально журнал регистрации событий имеет следующую структуру:

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

где  $\Pi$  – журнал регистрации событий;  $\pi_k$  –  $k$  – трасса процесса;  $E_k$  – множество событий на трассе процесса;  $e_{k,i}$  –  $i$  – событие трассы  $\pi_k$ ;  $\succ$  – отношение перехода;  $N$  – оператор Next темпоральной логики.

Наличие отношения перехода  $\succ$  между двумя событиями  $e_{k,i}$  и  $e_{k,j}$  означает, что между ними нет промежуточных событий, то есть  $e_{k,i} N e_{k,j}$ .

Реализацию журнала регистрации событий выполняют преимущественно в стандарте Наукові праці ВНТУ, 2016, № 4

XES, который задает xml-схему для описания последовательности выполнения бизнес-процессов. Структура входных данных в данном стандарте представлена на рис. 1.

```

<log>
  Определение переменных и атрибутов лога
  <trace>
    Множество атрибутов трассы
    <event>
      Множество атрибутов события
    </event>
    ...
    <event>
      Перечень атрибутов события
    </event>
  </trace>
  ...
  <trace>
    ...
  </trace>
</log>

```

Рис. 1. Структура исходных данных метода

Из рис. 1 видно, что трассы определяют парой тегов `<trace>` и `</trace>`, а события – парой `<event>` и `</event>`. Каждое событие характеризует множество атрибутов, например: время возникновения события; шифр или название действия, зафиксированного событием; состояние действия; название подразделения; имя исполнителя и т. п.

При построении модели процесса решения задачи необходимо сопоставлять одни и те же события в разных трассах лога. Однако события в журнале, как правило, не имеют идентификатора. Они характеризуются множеством атрибутов и их значений. Множество атрибутов для описания событий задается на уровне лога, как видно из рис. 1. Для разных процессов перечень атрибутов событий отличается, поэтому присвоение уникальных идентификаторов событиям необходимо выполнять отдельно для каждого лога. Иными словами, эта задача является инженерной. В дальнейшем будем считать, что во входных данных метода каждое уникальное событие имеет свой идентификатор. Такой идентификатор позволяет установить эквивалентность событий, записанных на разных трассах лога.

Приведенная формализация элементов журнала событий позволяет определить интервал выполнения действий. Такой интервал должен иметь как минимум два события, отображающих начало действия (или завершение предыдущей операции) и завершение действия. Тогда интервал выполнения действия на трассе процесса – это два действия, связанных между собой отношением перехода:

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

где  $\alpha_{k,ij}$  – интервал между граничными событиями  $e_{k,i}$  и  $e_{k,j}$  на трассе  $\pi_k$ .

Если действие процесса состоит из множества элементарных операций, то оно может быть записано в журнале в виде последовательности из нескольких событий. Соответствие между множеством событий журнала и действием процесса определяют с учетом значений атрибутов события [8]. Указанные атрибуты фиксируют состояние действия, а также объектов, используемых при выполнении действия. Обычно в таких процессах события лога имеют атрибуты "название действия" и "состояние действия". Указанные атрибуты позволяют выделить подмножество событий, соответствующее одному действию процесса, потому что название действия для данного подмножества событий будет одинаковым, а состояние – иметь разные значения. Например, действие "прием заказов на обслуживание" в

журнале фирмы сервисного обслуживания может иметь такие состояния: ожидание; обслуживание; выполнено.

В том случае, если одному действию соответствует несколько событий, то граничную пару событий  $e_{k,i}$  и  $e_{k,j}$  задают через транзитивное замыкание на отношении перехода:

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

В данном случае между событиями  $e_{k,i}$  и  $e_{k,j}$  существуют промежуточные события, соответствующие тому же действию, то есть  $e_{k,i} > e_{k,j} \Leftrightarrow e_{k,i} > \dots > e_{k,j}$ .

Длительность интервала событий на трассе определяют через разницу времени возникновения предельных событий соответствующего действия:

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

где  $\tau_{k,i}$  – время возникновения события  $e_{k,i}$ ;  $\tau_{k,j}$  – время возникновения события  $e_{k,j}$ .

Метод построения интервальной модели основан на определении отношений последовательного, параллельного или независимого выполнения между отдельными действиями процесса, или группами таких действий. Данный подход является развитием  $\alpha$ -алгоритма, в котором подобные отношения задают для событий журнала [6, 7].

При построении интервальной модели отношения между действиями задают в аспекте времени, что и определяет правомерность использования темпоральной модальной логики для описания таких отношений. Отметим, что логическое описание модели обеспечивает возможности ее дальнейшей верификации в соответствии с парадигмой ModelChecking.

При дальнейшей формализации используют темпоральные операторы:  $N$ , задающий последовательное выполнение действий (событий) друг за другом, а также  $F$ , определяющий последовательное выполнение с промежуточными событиями (действиями).

Определим интервал событий, отображающий выполнение одного и того же действия на разных трассах процесса, следующим образом:

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

где  $\alpha_{ij}$  – интервал событий для разных трасс процесса,  $E_k$  – множество событий трассы  $\pi_k$ .

Из выражения (5) видно, что признаком интервала событий является наличие упорядоченных пар  $e_{k,i} > e_{k,j}$  или  $e_{k,i} > e_{k,j}$  для трасс  $\pi_k$ , содержащих события  $e_{k,i}$  и  $e_{k,j}$ .

При прогнозировании времени выполнения процесса решения задачи в составе прецедента обычно формируют максимальную и минимальную оценки. Максимальная оценка длительности интервала  $\alpha_{ij}$ , определенного на всех трассах журнала, имеет следующий вид:

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

где  $\Delta\tau_{ij}^{max}$  – максимальная оценка продолжительности интервала  $[e_{k,i}, e_{k,j}]$  для всех трасс  $\pi_k$ .

Минимальную оценку определяют аналогично выражению (6).

Определение интервала событий (5) позволяет формализовать признак последовательного выполнения действий как последовательности интервалов событий. Концептуально, если действия происходят последовательно, то между соответствующими интервалами не должно быть промежуточных событий. Тогда последовательное выполнение фиксируют на соответствующих трассах процесса в виде последовательных интервалов  $\alpha'$  и  $\alpha''$  следующим образом:

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

где  $e_{k,j}$  – общее граничное событие для обоих интервалов,  $E_k$  – множество событий трассы  $\pi_k$ .

В соответствии с выражением (7) при последовательном выполнении действий последнее граничное событие предыдущего интервала на всех трассах процесса, где существуют эти интервалы, является первым граничным событием следующего интервала.

Действия процесса могут выполняться последовательно, но с промежутком между ними. Такая ситуация часто возникает, когда обработкой процесса занимаются исполнители из разных уровней организационной иерархии. Например, после приема заказа на сервисное обслуживание исполнитель может ожидать согласия руководителя на закупку комплектующих у выбранной фирмы.

Последовательное выполнение пары действий процесса с промежуточными действиями определяют через интервалы событий  $\alpha'$  и  $\alpha''$  следующим образом:

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

где  $\alpha'''$  – промежуточный интервал между интервалами  $\alpha'$  и  $\alpha''$ ,  $e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}, e_{k,m}$  – события, принадлежащие одной трассе процесса,  $E_k$  – множество событий трассы  $\pi_k$ .

Продолжительность выполнения пары действий  $\alpha'$  и  $\alpha''$  равна суммарной длительности выполнения действий  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  и  $\alpha'''$ .

Рассмотрим две типичных ситуации, в которых возникает параллельная или независимая обработка: разделение и объединение работ. В первом случае два интервала должны иметь общее первое граничное событие, а во втором – общее последнее событие.

Определим отношение разделения *split* между интервалами следующим образом:

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

где  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  – интервалы, которые на разных трассах имеют одинаковое начальное и разные конечные граничные события,  $E$  – множество всех событий журнала.

Отношение объединения *join* определяют для интервалов, имеющих одинаковое конечное и разные начальные граничные события на разных трассах процесса, :

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

где  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  – интервалы, которые на разных трассах имеют одинаковое конечное и разные начальные граничные события,  $E$  – множество всех событий журнала.

Для того, чтобы различить параллельное и независимое выполнение, необходимо формализовать признак параллельности. Концептуально, параллельность действий процесса значит, что в журнале существует по меньшей мере пара трасс, в которых эти действия записаны в обратном порядке:

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

где  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  – интервалы на трассах в журнале, соответствующие параллельным действиям процесса;  $E_k$ ,  $E_s$  – множества событий разных трасс процесса.

Применяя метод построения интервальной модели процесса решения задачи в составе прецедента, используют вышеприведенные признаки последовательного и параллельного выполнения действий. Метод включает в себя следующие этапы.

**Этап 1.** Построение множества  $A$  интервалов событий  $\alpha_{ij}$  для всех трасс процесса в соответствии с выражением (5).

Необходимое условие для выполнения данного этапа состоит в присвоении уникальных идентификаторов каждому уникальному событию. Как было отмечено выше, каждое событие однозначно может быть определено через множество атрибутов и их значений, уникальных для каждого процесса.

Для удобства перепишем выражение (5) в более короткой форме, которая показывает количество повторов каждого интервала на трассах журнала:

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

где  $A$  – множество всех интервалов событий в журнале;  $e_i, e_j$  – граничные события интервала без определения трассы, к которой они принадлежат;  $e_i, e_j$  – граничные события интервала на трассе  $\pi_k$ ;  $|\{e_{k,i}, e_{k,j}\}|$  – количество повторений интервала событий.

При решении задачи оценки длительности процесса на данном этапе множество интервалов дополняется значениями длительности интервалов:  $A' = \{ \alpha_{ij}, \tau_{ij} \}$ .

**Этап 2.** Построение подмножества интервалов событий, отображающих пары последовательных действий процесса в соответствии с признаком (7). Множество пар последовательных интервалов событий также определим с учетом их количества в журнале:

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

где  $A^N$  – подмножество пар последовательных интервалов;  $e_i, e_j, e_l$  – граничные события последовательных интервалов;  $e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}$  – предельные события последовательных интервалов с определением трассы;  $e_j$  – предельное событие, принадлежащее обоим интервалам.

Ограничение  $|\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\}| > 1$  показывает, что последовательность действий должна повторяться, то есть она должна быть зафиксирована по меньшей мере на двух трассах лога.

Очевидно, что длительность пары последовательных интервалов событий представляет сумму времени выполнения отдельных интервалов.

**Этап 3.** Построение подмножества интервалов событий, отображающих пары параллельных действий: разветвление (14) и соединение (15) в соответствии с вышеприведенными признаками:

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

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

**Этап 4.** Построение набора  $A^\#$  подмножества интервалов событий, отображающих пары независимых действий процесса, для которых не выполняется условие (11). На данном этапе формируют множества  $A^{\#split}$  и  $A^{\#join}$  аналогично этапу 3.

**Этап 5.** Формирование интервальной модели путем установления связей между интервалами событий из множеств  $A^N$ ,  $A^{split}$ ,  $A^{join}$ ,  $A^{\#split}$ ,  $A^{\#join}$ . Связь между интервалами устанавливают в случае совпадения граничных событий в обоих интервалах.

**Этап 6.** Дополнение модели транзитивными последовательными интервалами в соответствии с признаком (7). На данном этапе в модели определяют такие пары последовательных действий, между которыми есть промежуточные действия. Это позволяет при дальнейшем анализе найти "узкие места" процесса, которые приводят к задержкам

выполнения.

**Этап 7.** Дополнение модели временными оценками интервалов событий. Это позволяет путем сложения длительности интервалов для разных маршрутов модели сделать оценку продолжительности решения задачи. Указанную оценку используют при выборе прецедента в задачах Case-based reasoning.

Проиллюстрируем реализацию пяти базовых этапов метода на примере журнала событий, который состоит из двух трасс. В качестве идентификатора событий будем использовать латинские буквы. Трассу представим в виде кортежа из идентификаторов событий. Входной лог имеет такие трассы: { <a, b, c, f, k, g, h, i, j>, <a, d, e, f, k, g, i, h, j> }.

Для иллюстрации результатов выполнения этапов метода обе трассы были объединены и представлены в виде графа на рис. 2.

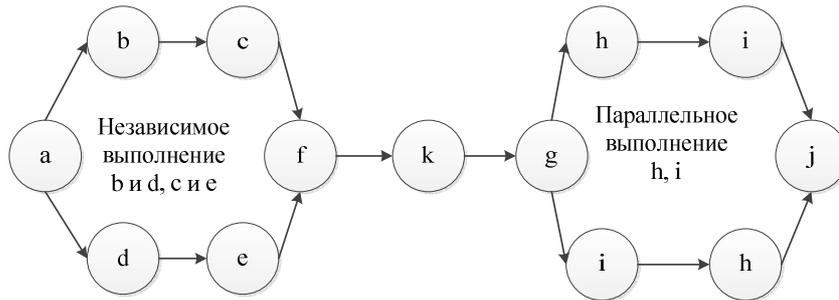


Рис. 2. Объединение событий для двух трасс процесса

**Результаты этапа 1:** множество интервалов  $A = \{ [a, b], [a, d], [b, c], [d, e], [c, f], [e, f], [f, k], [k, g], [g, h], [g, i], [h, i], [i, h], [i, j], [h, j] \}$ .

**Результаты этапа 2:** пары последовательных интервалов  $A^N = \{ ([f, k], [k, g])^2 \}$ . Имеем только одну пару последовательных интервалов, поскольку в данном случае  $|\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\}| > 1$ .

**Результаты этапа 3:** пары параллельных интервалов  $A^{split} = \{ ([g, h], [g, i]) \}$  и  $A^{join} = \{ [i, j], [h, j] \}$ .

Отметим, что для иллюстративного примера на данном этапе мы не учитывали количество повторений, потому что в журнале лишь две трассы, в каждой из которых записано по одному варианту параллельного выполнения.

**Результаты этапа 4:** пары независимых интервалов  $A^{#split} = \{ [a, b], [a, d] \}$  и  $A^{#join} = \{ [c, f], [e, f] \}$ .

**Результаты этапа 5:** последовательное объединение подмножеств интервалов  $A^N, A^{split}, A^{join}, A^{#split}, A^{#join}$  на основе совпадающих предельных событий в единственную интервальную модель:

- объединение  $A^N$  и  $A^{split}$ :  $\{ ([f, k] \rightarrow [k, g]), ([k, g] \rightarrow [g, h]), ([k, g] \rightarrow [g, i]) \}$ ;
- объединение  $A^N$  и  $A^{join}$ : нет совпадающих предельных событий;
- объединение  $A^{split}$  и  $A^{join}$ :  $\{ ([g, i] \rightarrow [i, j]), ([g, h] \rightarrow [h, j]) \}$ .

Объединение других подмножеств выполняют аналогично.

### Выводы

Выполнен анализ структуры журнала регистрации событий и определены признаки последовательного, параллельного и независимого выполнения событий процесса через отношение между интервалами событий журнала, отображающими выполнение действий процесса.

Предложен метод построения интервальной модели процесса решения задачи в составе

прецедента на основе анализа журнала событий. Метод включает в себя этапы определения интервалов событий лога, соответствующие действиям процесса, выделения множеств последовательных, параллельных и независимых интервалов событий, а также построения интервальной модели процесса путем объединения этих множеств.

Метод развивает идеи построения дискретной модели процесса, представленные  $\alpha$ -алгоритмом интеллектуального анализа процессов. В отличие от существующих подходов, признаки последовательного и параллельного выполнения определяют не для отдельных событий, а для интервалов событий, что позволяет отобразить в модели не состояния, а действия процесса с учетом длительности выполнения этих действий.

Использование интервальной модели в рамках прецедентного подхода позволяет выбрать прецедент на основе оценки времени решения задачи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 Сергей Федорович** – д. т. н., профессор, профессор кафедры информационных управляющих систем, e-mail: serhii.chalyi@nure.ua.

**Левыкин Игорь Викторович** – к. т. н., доцент, профессор кафедры медиасистем технологий, e-mail: ihor.levykin@nure.ua.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники.