

¹Аспирант кафедры программной инженерии и информационных технологий управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

²Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

ПОДХОД К АНАЛИЗУ И ОПТИМИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В НОТАЦИИ BPMN

Актуальность. В настоящее время все больше организаций представляют знания о своей деятельности с точки зрения бизнес-процессов. В то же время, построение моделей бизнес-процессов носит субъективный характер, что приводит к возникновению ошибок, связанных с компетентностью аналитика, либо, к примеру, с недостаточно подробным описанием предметной области. Таким образом, перед тем, как модели бизнес-процессов будут использованы для сбора, хранения и распространения организационных знаний, они должны быть проанализированы с точки зрения наличия различного рода недостатков.

Цель. Целью работы является разработка подхода к анализу и оптимизации моделей бизнес-процессов, используемых для представления организационных знаний.

Метод. В работе было рассмотрено и дополнено формальное представление моделей бизнес-процессов на основе ориентированных графов. Были рассмотрены и формализованы правила построения моделей бизнес-процессов. На основе характеристики структурной избыточности графа, а также коэффициента сбалансированности моделей бизнес-процессов, был предложен коэффициент структурного соответствия моделей бизнес-процессов правилам построения. С учетом формализованных правил построения и коэффициента структурного соответствия, был предложен формальный подход, предназначенный для формирования рекомендаций по совершенствованию моделей бизнес-процессов.

Результаты. С использованием разработанного программного обеспечения, которое реализует предложенный подход к анализу и оптимизации моделей бизнес-процессов, были выполнены контрольные расчеты для моделей бизнес-процессов закупки и продажи продукции. Для данных моделей были определены ошибки построения и сформированы рекомендации по их устранению. Преобразованные модели лишены ошибок и в дальнейшем могут быть использованы для представления организационных знаний.

Выводы. Предложенный подход позволяет определять ошибки, допущенные при построении моделей бизнес-процессов, и формировать рекомендации по их устранению.

Ключевые слова: моделирование бизнес-процессов, нотация моделирования, анализ, оптимизация.

НОМЕНКЛАТУРА

BPM – Business Process Management;

BPMN – Business Process Model and Notation;

XML – eXtensible Markup Language;

XPDL – XML Process Definition Language;

BPEL – Business Process Execution Language;

S – множество вершин, представляющих собой стартовые события;

A – множество вершин, представляющих собой задачи;

G – множество вершин, представляющих собой шлюзы;

F – множество вершин, представляющих собой конечные события;

$E \subseteq (V \times V)$ – множество направленных ребер;

L – множество меток вершин;

$l: V \rightarrow L$ – функция разметки вершин;

$p: E \rightarrow [0,1]$ – функция, сопоставляющая ребрам значения вероятности;

x_j – булева переменная, принимающая значение 0, в случае невыполнения j -го правила построения модели бизнес-процесса;

r – количество правил построения моделей бизнес-процессов;

$\Delta|S|$ – целочисленные изменения в количестве вершин, представляющих собой стартовые события;

$\Delta|F|$ – целочисленные изменения в количестве вершин, представляющих собой конечные события;

$\Delta \deg^+(v_i)$ – целочисленные изменения в значениях полустепеней захода i -й вершины графа BG ;

$\Delta \deg^-(v_i)$ – целочисленные изменения в значениях полустепеней исхода i -й вершины графа BG ;

CSC' – значение коэффициента структурного соответствия с учетом изменений.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с тем, что все больше организаций представляют знания о своей деятельности с точки зрения бизнес-процессов, возникает необходимость использования информационных технологий, позволяющих моделировать, внедрять и анализировать бизнес-процессы [1].

В качестве таких инструментов выступают системы класса BPM, которые предоставляют средства моделирования, проектирования, внедрения, анализа и непрерывного совершенствования бизнес-процессов в организации [2]. Таким образом, BPM-системы и их расширения служат для сбора, хранения и распространения организационных знаний, в то время как для представления знаний служат модели бизнес-процессов [3].

Одной из распространенных нотаций моделирования бизнес-процессов в BPM-системах является BPMN. Данная нотация предоставляет набор графических инструментов, интуитивно понятных для бизнес-пользователей, но также способных представлять сложную семантику бизнес-процесса. В то же время, доступность нотации для использования нетехническими пользователями может стать причиной возникновения случайных или системных ошибок, допущенных при построении моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, связанных с компетентностью автора [4, 5].

Целью работы является разработка подхода к анализу и оптимизации моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, используемых системами класса BPM для представления организационных знаний.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для моделирования бизнес-процессов в нотации BPMN используются следующие основные категории элементов [6]:

- 1) объекты потока (flow objects) – задача (Task), под-процесс (Sub-Process), шлюз (Gateway), событие (Event);
- 2) соединяющие объекты (connecting objects) – поток последовательности (Sequence Flow), поток сообщений (Message Flow), ассоциация (Association);
- 3) дорожки (swimlanes) – пул (Pool), полоса (Lane);
- 4) артефакты (artifacts) – объект данных (Data Object), текстовая аннотация (Text Annotation), группа (Group).

В общем виде, модель бизнес-процесса в нотации BPMN является ориентированным графом BG , который описывается кортежем $BG = (V, E, L, I, p)$, причем множество вершин данного графа имеет вид $V = S \cup A \cup G \cup F$ [7].

Для выполнения анализа и последующего совершенствования модели BPMN, граф BG необходимо построить на основе описания бизнес-процесса в формате XPD, который является международным стандартом и используется для обмена моделями бизнес-процессов между различными информационными системами большинством крупных поставщиков BPM-систем [8, 9].

Построение моделей бизнес-процессов носит субъективный характер, что приводит к возникновению ошибок, связанных с компетентностью аналитика, недостаточно подробным описанием предметной области и т.д. [10]. Таким образом, перед тем, как модель бизнес-процесса будет использована BPM-системой для представления организационных знаний, она должна быть проанализирована с точки зрения наличия недостатков.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Типичные ошибки, допускаемые пользователями при построении моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, рассматриваются в работах [11, 12]. Наиболее часто встречающиеся ошибки построения моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, авторы работы [11] выделили в «анти-шаблоны (anti-patterns)», демонстрирующие неверное использование объектов потока и соединяющих объектов:

- 1) для бизнес-процесса не определено конечное событие (End Event);

- 2) промежуточное событие (Intermediate Event) исключено из потока бизнес-процесса (Process Flow);

- 3) для разделения потока бизнес-процесса на несколько маршрутов не используется шлюз;

- 4) для бизнес-процесса не определено стартовое событие (Start Event);

- 5) задача не связана с остальным бизнес-процессом;

- 6) задача не приводит к завершению бизнес-процесса;

- 7) при моделировании межпроцессного взаимодействия (модель сотрудничества или модель хореографии в спецификации BPMN 1.x) у бизнес-процессов отсутствует стартовое и/или конечное событие.

Для формального описания моделей бизнес-процессов в нотации BPMN с целью их дальнейшего анализа и совершенствования используется математический аппарат теории графов [12–14] и сетей Петри [9, 15–17]. Это не удивительно, поскольку в BPMN бизнес-процессы описываются с помощью объектов потока и соединяющих объектов в формате ориентированных графов [18]. Применение сетей Петри было рассмотрено для анализа моделей бизнес-процессов в работе [19]. В работах [13, 14] анализ моделей бизнес-процессов в нотации BPMN осуществляется с использованием взвешенных ориентированных графов. Кроме того, в работах [15–17] рассматривается применение технологий интеллектуального анализа процессов (Process Mining) для анализа полученных сетей Петри.

В исследовании [20] рассматривается подход к анализу моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, предусматривающий вычисление и анализ следующих метрик:

- 1) длина процесса (process length);
- 2) объем процесса (process volume);
- 3) сложность процесса (process difficulty);
- 4) сложность интерфейса (interface complexity) задачи;
- 5) коэффициент сетевой сложности;
- 6) уровень взаимосвязанности (connectivity level) задач процесса.

Помимо [20], метрики сложности бизнес-процесса, описываемого с помощью нотации BPMN, рассматриваются также в исследовании [21]. Однако метрики, предназначенные для оценки сложности моделируемого бизнес-процесса, не отражают особенности построения моделей в нотации BPMN и, следовательно, не могут быть использованы для их анализа с точки зрения наличия недостатков.

В работах [22, 23] рассматривается подход к количественному анализу моделей бизнес-процессов в нотации IDEF0, обобщаемый также и для анализа диаграмм потоков данных, предполагающий расчет коэффициента сбалансированности. Согласно данному подходу, в рамках одной диаграммы не желательны ситуации, когда для различных блоков значительно отличается число соединенных с ними дуг, что, как правило, является признаком ошибок при проектировании и эксплуатации бизнес-процесса [22].

Особенности применения коэффициента сбалансированности для анализа диаграмм потоков данных были рассмотрены в работе [10]. Несмотря на свои преимущества, данный подход также не может быть применен

для анализа моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, поскольку он не учитывает особенности различных объектов потока (задачи, подпроцессы, шлюзы, события) и правила их соединения.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для соответствия нотации BPMN, описание графа BG , предложенного в работе [7], необходимо дополнить множеством вершин I , представляющих собой промежуточные события. Таким образом, множество вершин графа BG примет вид $V = S \cup A \cup G \cup F \cup I$.

Основными элементами языка XPDЛ, с помощью которых описывается бизнес-процесс, являются деятельности (Activity) и переходы (Transition) [18, 24]. Тогда, для построения ориентированного графа BG , необходимо отразить деятельности бизнес-процесса, описанного с помощью XPDЛ, в вершины графа $v \in V$, а переходы – в направленные ребра графа $(v, w) \in E$. Согласно стандарту XPDЛ, деятельности используются для представления задач (подпроцессов), событий и шлюзов. Поэтому, при построении множества вершин V графа BG на основе описания процесса в формате XPDЛ, необходимо учитывать следующие правила:

- 1) если деятельность содержит элемент Implementation, вершина будет представлять собой задачу (подпроцесс) $v \in A \subset V$;
- 2) если деятельность содержит элемент Event, содержащий элемент StartEvent, вершина будет представлять собой стартовое событие $v \in S \subset V$;
- 3) если деятельность содержит элемент Event, содержащий элемент EndEvent, вершина будет представлять собой конечное событие $v \in F \subset V$;
- 4) если деятельность содержит элемент Event, содержащий элемент IntermediateEvent, вершина будет представлять собой промежуточное событие $v \in I \subset V$;
- 5) если деятельность содержит элемент Route, вершина будет представлять собой шлюз $v \in G \subset V$.

Для построения множества направленных ребер $(v, w) \in E$ графа BG необходимо анализировать атрибуты переходов «From» и «To», содержащие значения идентификаторов «Id» деятельностей, связанных данными переходами (рис. 1). Поскольку стандарт XPDЛ основывается на XML, идентификаторы деятельностей и переходов также являются атрибутами данных элементов. Так, например, в случае перехода со значениями «A1» и «A2» для атрибутов «From» и «To» соответственно, ребро графа будет направлено от вершины, соответствующей деятельности со значением идентификатора «A1»,

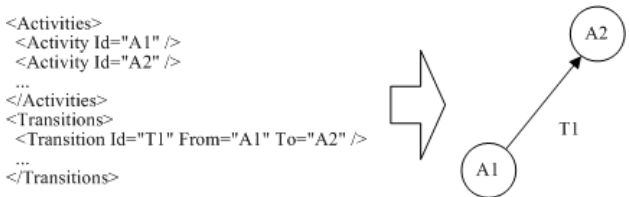


Рисунок 1 – Пример построения фрагмента графа BG

к вершине, соответствующей деятельности со значением идентификатора «A2» (рис. 1).

Одним из способов представления ориентированного графа является матрица смежности. Поскольку модель бизнес-процесса в нотации BPMN является ориентированным графом [7, 13–14], для осуществления ее анализа необходимо построить соответствующую матрицу смежности. Необходимо отметить, что в одном документе XPDЛ могут содержаться определения нескольких бизнес-процессов. Таким образом, в результате применения предлагаемого подхода, для каждого бизнес-процесса будет построен соответствующий ориентированный граф $BG_i, i \in \overline{1, m}$, где m – количество определенных в документе XPDЛ бизнес-процессов, а также матрица смежности данного графа. Матрица смежности графа BG , описывающего модель бизнес-процесса в нотации BPMN, является квадратной матрицей PM размера n , причем $n = |V|$. Кроме того, нотация BPMN не допускает связывание объектов потока более чем одним соединяющим объектом, поэтому матрица смежности PM будет являться бинарной матрицей.

Для выявления ошибок [11, 12], допускаемых при построении моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, необходимо проверить выполнение следующих правил:

1) $|F| > 0$ – для бизнес-процесса должно быть определено конечное событие;

$$2) \forall v_i \in I: \sum_{j=1}^n PM(i, j) > 0 \wedge \forall v_i \in I: \sum_{j=1}^n PM(j, i) > 0,$$

$i \in \overline{1, n}$ – промежуточное событие не должно быть исключено из потока бизнес-процесса;

$$3) \forall v_i \in A: \sum_{j=1}^n PM(i, j) = 1 \wedge \forall v_i \in G: \sum_{j=1}^n PM(i, j) > 1,$$

$i \in \overline{1, n}$ – для разделения потока бизнес-процесса на несколько маршрутов должен использоваться шлюз;

4) $|S| > 0$ – для бизнес-процесса должно быть определено стартовое событие;

$$5) \forall v_i \in A: \sum_{j=1}^n PM(j, i) > 0 \wedge \forall v_i \in A: \sum_{j=1}^n PM(i, j) > 0,$$

$i \in \overline{1, n}$ – задача должна быть связана с остальным бизнес-процессом и приводить к его завершению.

Поскольку один документ XPDЛ может содержать определения m бизнес-процессов, проверку выполнения правил (1–5) необходимо осуществлять для каждого i -го бизнес-процесса на основе ориентированного графа BG_i и его матрицы смежности $PM_i, i \in \overline{1, m}$.

Так, например, с учетом правил (1) и (2), при моделировании межпроцессного взаимодействия (хореография/сотрудничество), для каждого i -го бизнес-процесса должно быть определено хотя бы одно стартовое и одно конечное событие, т.е. $\forall BG_i: |S| > 0 \wedge |F| > 0, i \in \overline{1, m}$.

Таким образом, в случае наличия ошибок построения модели бизнес-процесса, одно или несколько рассмотренных выше правил построения моделей бизнес-процессов в нотации BPMN (1–5) не будут выполняться. Другими словами, если в модели бизнес-процесса присутствуют ошибки, результатом вычисления функции $y(x_1, x_2, \dots, x_r)$ будет значение 0:

$$y(x_1, x_2, \dots, x_r) = x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_r = \bigwedge_{j=1}^r x_j.$$

На основе изложенного выше материала, сформируем общую схему анализа моделей бизнес-процессов в нотации BPMN (рис. 2).

На основе характеристики структурной избыточности [25], отражающей превышение общего числа связей над минимально необходимым числом связей, а также коэффициента сбалансированности [22, 23], был сформирован коэффициент структурного соответствия модели бизнес-процесса в нотации BPMN правилам построения:

$$CSC = (\text{sgn}(|S|) - 1) + (\text{sgn}(|F|) - 1) + \sum_{v_i \in I} \frac{\text{sgn}\left(\sum_{j=1}^n PM(i, j)\right) - 1}{|I|} +$$

$$+ \sum_{v_i \in I} \frac{\text{sgn}\left(\sum_{j=1}^n PM(j, i)\right) - 1}{|I|} + \sum_{v_i \in A} \frac{\text{sgn}\left(\sum_{j=1}^n PM(j, i) + \Delta \text{deg}^+(v_i)\right) - 1}{|A|} -$$

$$- \sum_{v_i \in A} \text{sgn}\left(1 - \sum_{j=1}^n PM(i, j)\right).$$

Значение коэффициента $CSC < 0$ свидетельствует о наличии ошибок построения [11, 12] анализируемой модели бизнес-процесса в нотации BPMN. Таким образом, значения данного коэффициента могут изменяться в интервале $[-5 - |A|, 0]$.

Для формирования рекомендаций по устранению обнаруженных ошибок построения модели бизнес-процесса в нотации BPMN, необходимо определить изменения в соответствующем ей ориентированном графе BG , т.е. решить следующую задачу:

$$CSC' = (\text{sgn}(|S| + \Delta|S|) - 1) + (\text{sgn}(|F| + \Delta|F|) - 1) +$$

$$+ \sum_{v_i \in I} \frac{\text{sgn}\left(\sum_{j=1}^n PM(i, j) + \Delta \text{deg}^-(v_i)\right) - 1}{|I|} +$$

$$+ \sum_{v_i \in I} \frac{\text{sgn}\left(\sum_{j=1}^n PM(j, i) + \Delta \text{deg}^+(v_i)\right) - 1}{|I|} +$$

$$+ \sum_{v_i \in A} \frac{\text{sgn}\left(\sum_{j=1}^n PM(j, i) + \Delta \text{deg}^+(v_i)\right) - 1}{|A|} -$$

$$- \sum_{v_i \in A} \text{sgn}\left(1 - \sum_{j=1}^n PM(i, j) + \Delta \text{deg}^-(v_i)\right) \rightarrow \max,$$

$$|S| + \Delta|S| > 0, |F| + \Delta|F| > 0,$$

$$\forall v_i \in I: \sum_{j=1}^n PM(i, j) + \Delta \text{deg}^-(v_i) > 0,$$

$$\sum_{j=1}^n PM(j, i) + \Delta \text{deg}^+(v_i) > 0, i \in \overline{1, n},$$

$$\forall v_i \in A: \sum_{j=1}^n PM(i, j) + \Delta \text{deg}^-(v_i) = 1,$$

$$\sum_{j=1}^n PM(j, i) + \Delta \text{deg}^+(v_i) > 0, i \in \overline{1, n}.$$

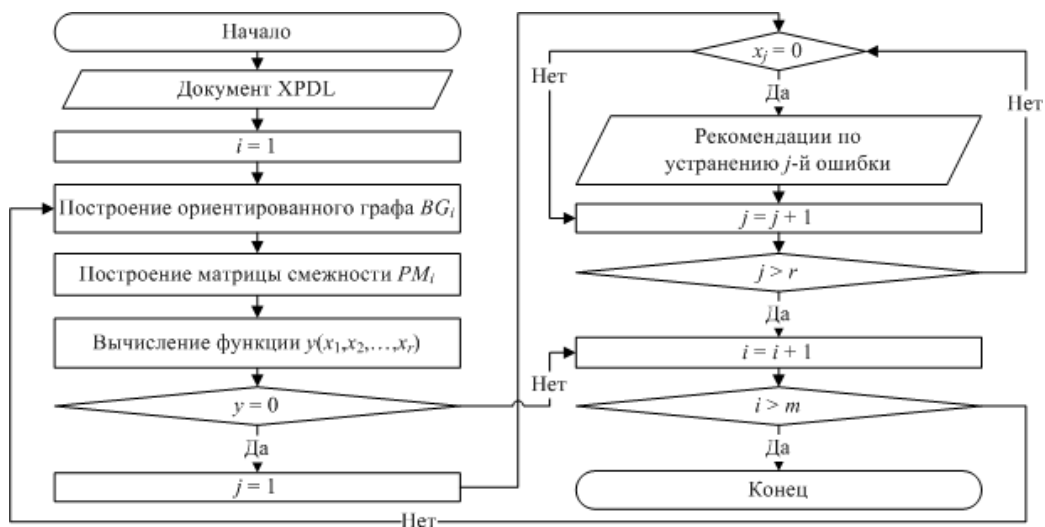


Рисунок 2 – Общая схема анализа моделей бизнес-процессов в нотации BPMN

Применение предложенного подхода позволит определять ошибки, допущенные при построении моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, а также формировать рекомендации по их устранению на основе правил (1–5).

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В качестве примера рассмотрим диаграмму BPMN, описывающую бизнес-процессы торговой организации (рис. 3). Для построения диаграмм BPMN использовалось бесплатное средство моделирования Bizagi Process Modeler, входящее в состав системы управления бизнес-процессами Bizagi BPM Suite.

На диаграмме представлены бизнес-процессы «Закупка продукции» и «Продажа продукции», для каждого из которых были построены и проанализированы соответствующие ориентированные графы BG_1 и BG_2 , а также их матрицы смежности PM_1 и PM_2 .

Реализация предложенного подхода была осуществлена с использованием платформы .NET и языка программирования C#. Разработанный инструмент позволяет загружать определения бизнес-процессов, выгруженные из BPM-систем в формате XPDЛ, определять значения коэффициента структурного соответствия, ошибки построения моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, а также формировать рекомендации по их устранению (рис. 4).

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ моделей бизнес-процессов (рис. 3) при помощи разработанного программного средства позволил обнаружить следующие ошибки построения (рис. 5):

- 1) для бизнес-процесса «Закупка продукции» не определено конечное событие;
- 2) задача «Прием продукции» не приводит к завершению бизнес-процесса «Закупка продукции»;

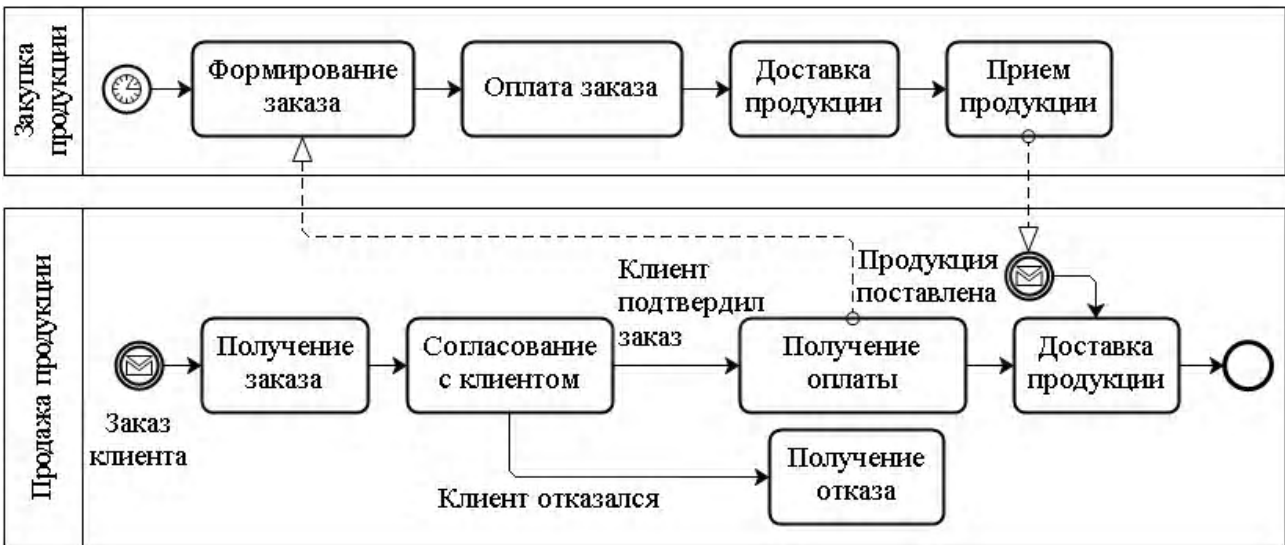


Рисунок 3 – Исходная диаграмма BPMN

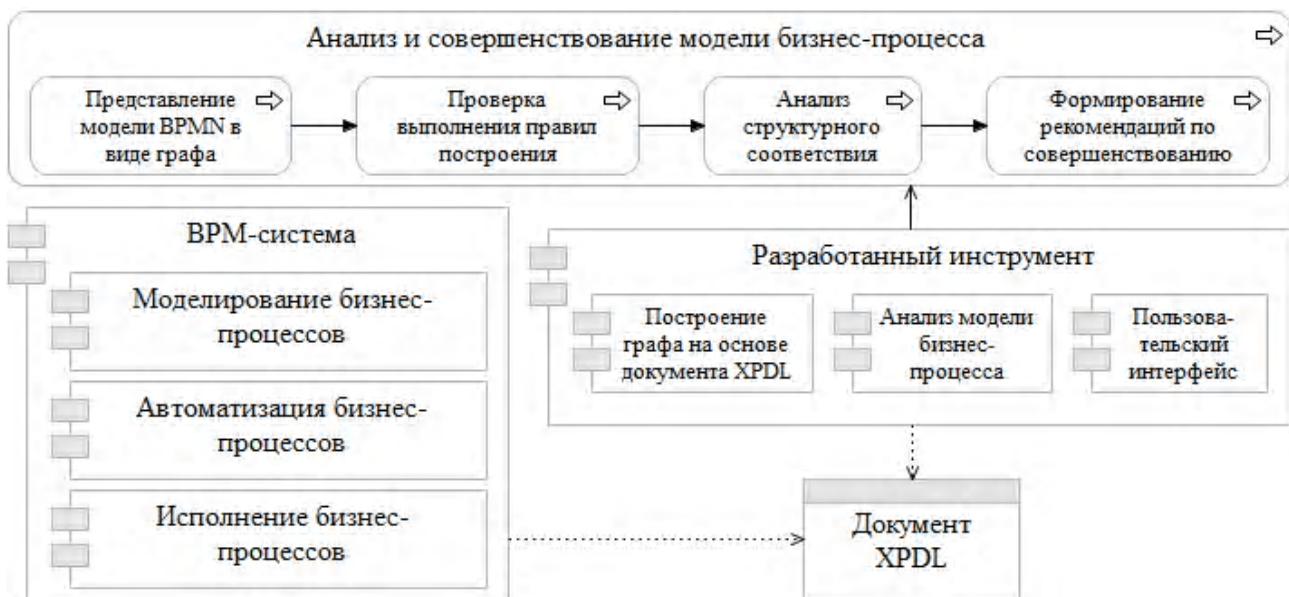


Рисунок 4 – Взаимодействие разработанного инструмента с BPM-системой

3) для бизнес-процесса «Продажа продукции» не определено стартовое событие;

4) промежуточное событие «Продукция поставлена» исключено из потока бизнес-процесса «Закупка продукции»;

5) промежуточное событие «Заказ клиента» исключено из потока бизнес-процесса «Продажа продукции»;

6) для разделения потока бизнес-процесса «Продажа продукции» на несколько маршрутов не используется шлюз;

7) задача «Получение отказа» не приводит к завершению бизнес-процесса «Продажа продукции».

Наличие ошибок, допущенных при построении моделей рассматриваемых бизнес-процессов, подтверждают результаты вычисления функции $y(x_1, x_2, \dots, x_r)$ (табл. 1).

Значения коэффициента структурного соответствия моделей бизнес-процессов «Закупка продукции» и «Продажа продукции» правилам построения (1–5) моделей

BPMN составили $CSC_1 = -2$ и $CSC_2 = -4$ соответственно.

На основе рекомендаций (табл. 2), которые были получены в результате применения предложенного подхода, исходная диаграмма (рис. 3) была преобразована с учетом правил построения (1–5) моделей бизнес-процессов в нотации BPMN.

В результате выполненных преобразований, значения коэффициента структурного соответствия моделей бизнес-процессов «Закупка продукции» и «Продажа продукции» правилам построения (1–5) моделей BPMN составили $CSC'_1 = 0$ и $CSC'_2 = 0$ соответственно.

Модели бизнес-процессов, представленные на преобразованной диаграмме BPMN (рис. 6), лишены ошибок [11, 12] и в дальнейшем могут быть использованы системами класса BPM для сбора, хранения и распространения организационных знаний.

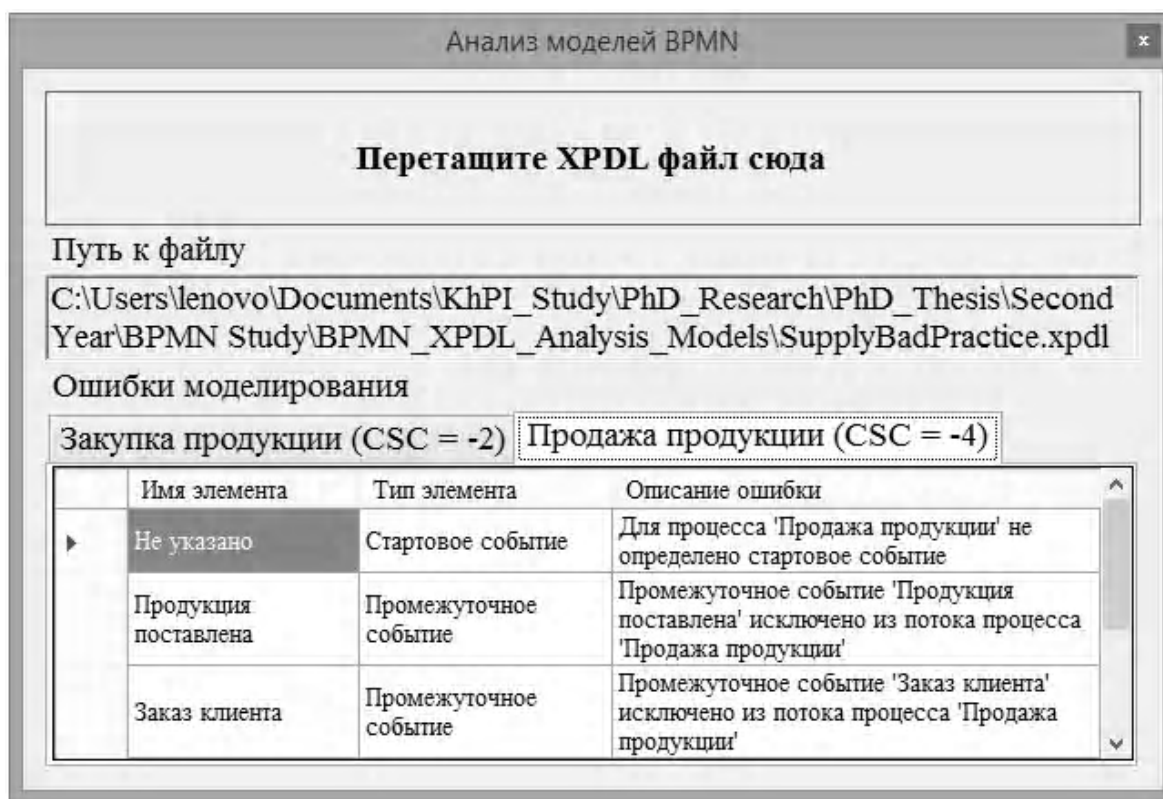


Рисунок 5 – Результаты анализа диаграммы BPMN с использованием разработанного программного средства

Таблица 1 – Результаты анализа моделей бизнес-процессов

Модель бизнес-процесса	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$y(x_1, x_2, \dots, x_r)$
Закупка продукции	0	1	0	1	0	$0 \wedge 1 \wedge 0 \wedge 1 \wedge 0 = 0$
Продажа продукции	1	0	0	0	0	$1 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 0 = 0$

Таблица 2 – Рекомендации по устранению ошибок моделей бизнес-процессов

Модель бизнес-процесса	$\Delta S $	$\Delta F $	$\Delta \deg^+(v_i)$	$\Delta \deg^-(v_i)$
Закупка продукции	0	1	–	$\Delta \deg^-(v_5) = 1$
Продажа продукции	1	0	$\Delta \deg^+(v_1) = 1$	$\Delta \deg^-(v_3) = -1$
			$\Delta \deg^+(v_6) = 1$	$\Delta \deg^-(v_5) = 1$

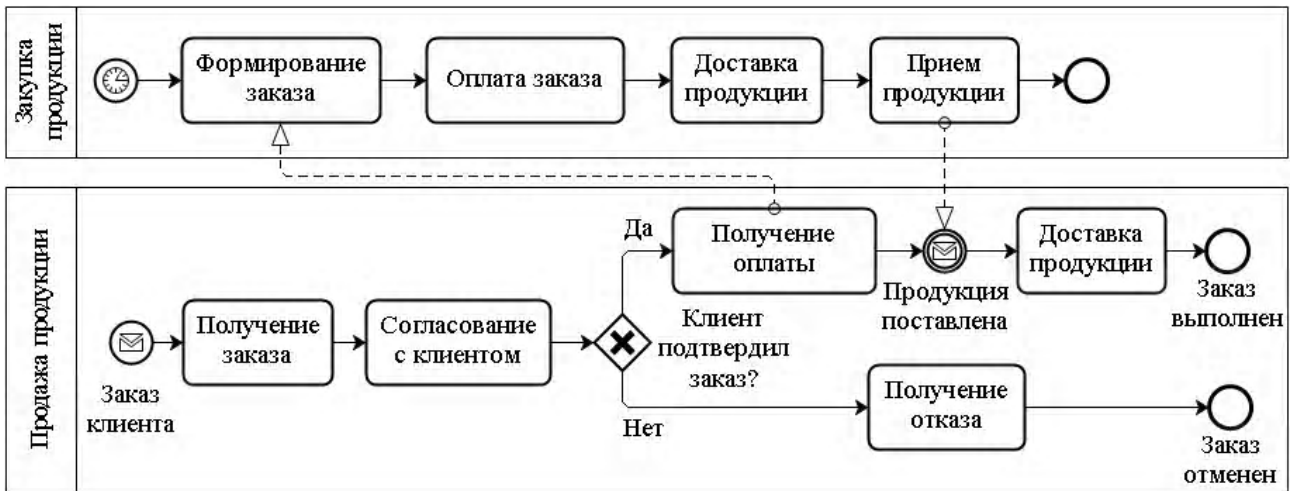


Рисунок 6 – Преобразованная диаграмма BPMN

6 ОБСУЖДЕНИЕ

Применение предложенного подхода, по сравнению с подходами, предполагающими анализ метрик сложности бизнес-процессов [20, 21] и коэффициента сбалансированности моделей бизнес-процессов [22, 23], позволяет учитывать основные особенности построения моделей бизнес-процессов в нотации BPMN. Однако для анализа моделей бизнес-процессов с помощью предложенного подхода требуется выполнение значительно большего объема вычислений. В то же время, благодаря формализации правил построения моделей бизнес-процессов в нотации BPMN (1–5), предложенный подход позволяет количественно оценивать степень соответствия моделей данным правилам, определять ошибки [11, 12], связанные с неверным использованием объектов потока и соединяющих объектов, а также формировать рекомендации по их устранению.

В отличие от существующих подходов, основанных на применении теории графов и сетей Петри [7, 9, 12–18], предложенный подход предполагает построение ориентированного графа, описание которого [7] было дополнено множеством промежуточных событий, на основе документа в формате XPDЛ, который является международным стандартом обмена моделями бизнес-процессов между различными информационными системами.

В сравнении с разработанным программным средством, реализующим предложенный подход, анализ исходной диаграммы (рис. 3) в Bizagi Process Modeler продемонстрировал отсутствие каких-либо ошибок построения моделей бизнес-процессов. Инструментальные средства (например, Enterprise Architect, Camunda BPM, Activiti Modeler и др.) осуществляют анализ диаграмм BPMN лишь с точки зрения синтаксиса [6], что не позволяет определить ошибки построения моделей бизнес-процессов, в отличие от предложенного подхода.

Недостатком предложенного подхода является использование только формата XPDЛ, что существенно сужает возможности интеграции разработанного инструмента с другими BPM-системами. Таким образом, в дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть использование форматов BPMN 2.0 и BPEL, которые также основаны на XML.

ВЫВОДЫ

Предложен подход к анализу и оптимизации моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, используемых системами класса BPM для представления организационных знаний.

Рассмотрено и дополнено формальное представление моделей бизнес-процессов в нотации BPMN с помощью ориентированных графов [7], построение которых предложено осуществлять на основе описаний моделей бизнес-процессов в формате XPDЛ. Рассмотрены и формализованы правила построения моделей бизнес-процессов в нотации BPMN.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что дальнейшее развитие получил коэффициент сбалансированности моделей бизнес-процессов [21, 22], на основе которого был предложен коэффициент структурного соответствия моделей BPMN правилам построения. Кроме того, предложен формальный подход к формированию рекомендаций по совершенствованию моделей бизнес-процессов в нотации BPMN.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что на основе предложенного подхода было разработано программное средство, позволяющее определять ошибки, допущенные при построении моделей бизнес-процессов в нотации BPMN, и формировать рекомендации по их устранению. При помощи разработанного программного средства были выполнены контрольные расчеты для моделей бизнес-процессов закупки и продажи продукции.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках диссертационного исследования на тему «Модели и информационные технологии процессного управления бизнес-структурами предприятия», проводимого во время обучения в аспирантуре Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» по специальности 122 «Компьютерные науки». Результаты исследований также используются в учебном процессе по дисциплине «Инжиниринг и реинжиниринг бизнес-систем» при подготовке студентов образовательно-квалификационного уровня «магистр» по специальности 122 «Компьютерные науки».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yan Z. A Framework for Business Process Model Repositories [Text] / Z. Yan, P. W. P. J. Grefen // Business Process Management Workshops. – 2010. – Vol. 66. – P. 559–570. DOI: 10.1007/978-3-642-20511-8_51
2. Wasilewski A. Business process management suite (BPMS) market changes 2009 – 2015 [Text] / A. Wasilewski // Information Systems in Management. – 2016. – Vol. 5. – P. 585–592.
3. Curko K. The Role of Business Process Management Systems and Business Intelligence Systems in Knowledge Management [Text] / K. Curko, V. B. Vuksic, A. Loncar // International Journal of Computers And Communications. – 2009. – Vol. 3. – №. 2. – P. 17–24.
4. White S. A. BPMN modeling and reference guide: understanding and using BPMN [Text] / S. A. White, D. Miers. – Future Strategies Inc., 2008. – 225 p.
5. Kluza K. Overview of BPMN model equivalences: towards normalization of BPMN diagrams [Text] / K. Kluza, K. Kaczor // 8th Workshop on Knowledge Engineering and Software Engineering (KESE2012) at the at the biennial European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2012): August. – 2012. – Vol. 28. – P. 38–45.
6. Jordan D. Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0 [Text] / D. Jordan, J. Evidemon. – Object Management Group, 2011. – 538 p.
7. Braghetto K. R. From business process model and notation to stochastic automata network [Text] / K. R. Braghetto, J. E. Ferreira, J. M. Vincent // Relatório Técnico RTMAC-2011-03, Universidade São Paulo. – 2011. – Vol. 7. – P. 73.
8. Shapiro R. Workflow Management Coalition Workflow Standard Process Definition Interface-XML Process Definition Language [Text] / R. Shapiro, M. Martin. – The Workflow Management Coalition, 2008. – 87 p.
9. Transforming XPD L to Petri nets [Text] / [H. Zha, Y. Yang, J. Wang et al.] // International Conference on Business Process Management. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. – P. 197–207. DOI: 10.1007/978-3-540-78238-4_21
10. Копп А. Разработка подхода к анализу и оптимизации диаграмм потоков данных [Text] / А. Копп, Д. Орловский // ScienceRise. – 2017. – Vol. 7. – P. 33–42. DOI: 10.15587/2313-8416.2017.107048.
11. Rozman T. Analysis of most common process modeling mistakes in BPMN process models [Text] / T. Rozman, G. Polancic, R. V. Horvat // 2008 BPM and Workflow Handbook. – 2008. – P. 1–15.
12. BPMN Symbols: The 10 most common mistakes to avoid [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.heflo.com/blog/process-modeling/bpmn-symbols/>
13. Guiding the Creation of Choreographed Processes with Multiple Instances Based on Data Models [Text] / [M. T. Gómez-López, J. M. Pérez-Álvarez, A. J. Varela-Vaca, R. M. Gasca et al.] // International Conference on Business Process Management. – Springer, Cham, 2016. – P. 239–251. DOI: 10.1007/978-3-319-58457-7_18
14. Ontology-Based Heuristics for Process Behavior: Formalizing False Positive Scenarios [Text] / [J. Roa, E. Reynares, M. L. Caliusco, P. Villarreal et al.] // International Conference on Business Process Management. – Springer, Cham, 2016. – P. 106–117. DOI: 10.1007/978-3-319-58457-7_8
15. Dijkman R. M. Semantics and analysis of business process models in BPMN [Text] / R. M. Dijkman, M. Dumas, C. Ouyang // Information and Software technology. – 2008. – Vol. 50. – № 12. – P. 1281–1294. DOI: 10.1016/j.infsof.2008.02.006
16. Dijkman R. M. Formal semantics and analysis of BPMN process models using Petri nets [Text] / R. M. Dijkman, M. Dumas, C. Ouyang // Queensland University of Technology, Tech. Rep. – 2007. – P. 1–30.
17. Kalenkova A. A. Discovering, analyzing and enhancing BPMN models using ProM [Text] / A. A. Kalenkova, W. van der Aalst, M. de Leoni // Proceedings of the BPM Demo sessions 2014 Colocated with 12th International Conference on Business Process Management (BPM2014) Eindhoven, The Netherlands, September 10, 2014. – CEUR-WS. org, 2014. – P. 36–40.
18. Mapping from BPMN-Formed Business Processes to XPD L Business Processes [Text] / [M. Jung, H. S. Kim, M. H. Jo, K. H. Tak, H. S. Cha, J. H. Son] // ICEB. – 2004. – P. 422–427.
19. Копп А. М. Об одном подходе к решению задачи оптимизации структуры бизнес-процессов предприятия [Текст] / А. М. Копп, Д. Л. Орловский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – 2015. – № 58. – С. 102–108.
20. Kluza K. Proposal of square metrics for measuring business process model complexity [Text] / K. Kluza, G. J. Nalepa // Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2012 Federated Conference on. – IEEE, 2012. – P. 919–922.
21. Cardoso J. Business process control-flow complexity: Metric, evaluation, and validation [Text] / J. Cardoso // International Journal of Web Services Research. – 2008. – Vol. 5. – №. 2. – P. 49.
22. Анализ предметной области оборота рабочей конструкторской документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kb-ametist.com/rus/18_publish/10.pdf
23. Замятина О. М. Моделирование систем : учебное пособие [Текст] / О. М. Замятина. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 204 с.
24. Van der Aalst W. M. P. Patterns and xpd l: A critical evaluation of the xml process definition language [Text] / W. M. P. van der Aalst // BPM Center report BPM-03-09, BPMcenter. org. – 2003. – P. 1–30.
25. Широков Л. А. Исследование систем управления : учебное пособие [Текст] / Л. А. Широков. – М. : МГИУ, 2010. – 168 с.

Статья поступила в редакцию 02.12.2017.
После доработки 10.01.2017.

Копп А. М.¹, Орловский Д. Л.²

¹Аспірант кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

²Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В НОТАЦІЇ BPMN

Актуальність. В даний час все більше організацій представляють знання про свою діяльність з точки зору бізнес-процесів. У той же час, побудова моделей бізнес-процесів має суб'єктивний характер, що призводить до виникнення помилок, пов'язаних з компетентністю аналітика, або, наприклад, з недостатньо докладним описом предметної області. Таким чином, перед тим, як моделі бізнес-процесів будуть використані для збору, зберігання та поширення організаційних знань, вони повинні бути проаналізовані з точки зору наявності різного роду недоліків.

Мета. Метою роботи є розробка підходу до аналізу та оптимізації моделей бізнес-процесів, які використовуються для представлення організаційних знань.

Метод. У роботі було розглянуто та доповнено формальне представлення моделей бізнес-процесів на основі орієнтованих графів. Були розглянуті та формалізовані правила побудови моделей бізнес-процесів. На основі характеристики структурної надмірності графа, а також коефіцієнта збалансованості моделей бізнес-процесів, був запропонований коефіцієнт структурної відповідності моделей бізнес-процесів правилам побудови. З урахуванням формалізованих правил побудови та коефіцієнта структурної відповідності, було запропоновано формальний підхід, призначений для формування рекомендацій щодо вдосконалення моделей бізнес-процесів.

Результати. З використанням розробленого програмного забезпечення, яке реалізує запропонований підхід до аналізу та оптимізації моделей бізнес-процесів, були виконані контрольні розрахунки для моделей бізнес-процесів закупівлі і продажу продукції. Для даних моделей були визначені помилки побудови та сформовано рекомендації щодо їх усунення. Перетворені моделі позбавлені помилок та в подальшому можуть бути використані для представлення організаційних знань.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє визначити помилки, допущені при побудові моделей бізнес-процесів, та формувати рекомендації щодо їх усунення.

Ключові слова: моделювання бізнес-процесів, нотація моделювання, аналіз, оптимізація.

Kopp A. M.¹, Orlovskiy D. L.²

¹Postgraduate student of Department of Software Engineering and Management Information Technologies, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine

²Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Department of Software Engineering and Management Information Technologies, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine

AN APPROACH TO BPMN BASED BUSINESS PROCESS MODELS ANALYSIS AND OPTIMIZATION

Context. Today, most organizations represent knowledge about their activities from a business processes point of view. At the same time, business process modeling is a subjective activity, which leads to errors associated with an analyst competence or i.e. with a poorly detailed subject area description. Thus, business process models should be analyzed for various kinds of shortcomings before they used for collecting, storing, and sharing of the organizational knowledge.

Objective. The objective of the study is to develop an approach to the analysis and optimization of business process models used to represent the organizational knowledge.

Method. A formal representation of business process models, based on directed graphs, has been considered in this study. Business process models design rules have been considered and formalized. A coefficient of business process models structural conformity to the design rules, which is based on the graphs redundancy characteristic and the business process models balancing coefficient, has been proposed. A formal approach to forming business process models enhancement recommendations has been proposed with considering the formalized design rules and the coefficient of structural conformity.

Results. Calculations for models of products purchase and sale business processes, using developed software which is implemented the proposed approach to business process models analysis and optimization, have been performed. The design shortcomings of the considered models have been defined and the enhancement recommendations formed. Transformed models are error free and further can be used to represent organizational knowledge.

Conclusions. The proposed approach allows to define the business process models design shortcomings and to develop recommendations for their elimination.

Keywords: business process modeling, modeling notation, analysis, optimization.

REFERENCES

1. Yan Z., Grefen P. W. P. J. A Framework for Business Process Model Repositories [Text], *Business Process Management Workshops*, 2010, Vol. 66, pp. 559–570. DOI: 10.1007/978-3-642-20511-8_51
2. Wasilewski A. Business process management suite (BPMS) market changes 2009 – 2015 [Text], *Information Systems in Management*, 2016, Vol. 5, pp. 585–592.
3. Curko K., Vuksic V. B., Loncar A. The Role of Business Process Management Systems and Business Intelligence Systems in Knowledge Management [Text], *International Journal of Computers And Communications*, 2009, Vol. 3, No. 2, pp. 17–24.
4. White S. A., Miers D. BPMN modeling and reference guide: understanding and using BPMN [Text]. *Future Strategies Inc.*, 2008, 225 p.
5. Kluza K., Kaczor K. Overview of BPMN model equivalences: towards normalization of BPMN diagrams [Text], *8th Workshop on Knowledge Engineering and Software Engineering (KESE2012) at the at the biennial European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2012): August, 2012*, Vol. 28, pp. 38–45.
6. Jordan D., Evdemon J. Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0 [Text]. Object Management Group, 2011, 538 p.
7. Braghetto K. R., Ferreira J. E., Vincent J. M. From business process model and notation to stochastic automata network [Text], *Relatório Técnico RTMAC-2011-03, Universidade São Paulo*, 2011, Vol. 7, pp. 73.
8. Shapiro R., Martin M. Workflow Management Coalition Workflow Standard Process Definition Interface-XML Process Definition Language [Text]. The Workflow Management Coalition, 2008, 87 p.
9. Zha H., Yang Y., Wang J. et al. Transforming XPD to Petri nets [Text], *International Conference on Business Process Management*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007, pp. 197–207. DOI: 10.1007/978-3-540-78238-4_21
10. Kopp A., Orlovskiy D. Razrabotka podhoda k analizu i optimizacii diagramm potokov dannyh [Text], *ScienceRise*, 2017, Vol. 7, pp. 33–42. DOI: 10.15587/2313-8416.2017.107048.
11. Rozman T., Polancic G., Horvat R. V. Analysis of most common process modeling mistakes in BPMN process models [Text], *2008 BPM and Workflow Handbook*, 2008, pp. 1–15.
12. BPMN Symbols: The 10 most common mistakes to avoid [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.heflo.com/blog/process-modeling/bpmn-symbols/>
13. Gómez-López M. T., R rez-Álvarez J. M., Varela-Vaca A. J., Gasca R. M. et al. Guiding the Creation of Choreographed Processes with Multiple Instances Based on Data Models [Text], *International Conference on Business Process Management*. Springer, Cham, 2016, pp. 239–251. DOI: 10.1007/978-3-319-58457-7_18
14. Roa J., Reynares E., Calusco M. L., Villarreal P. et al.] Ontology-Based Heuristics for Process Behavior: Formalizing False Positive Scenarios [Text], *International Conference on Business Process Management*. Springer, Cham, 2016, pp. 106–117. DOI: 10.1007/978-3-319-58457-7_8
15. Dijkman R. M., Dumas M., Ouyang C. Semantics and analysis of business process models in BPMN [Text], *Information and Software technology*, 2008, Vol. 50, No. 12, pp. 1281–1294. DOI: 10.1016/j.infsof.2008.02.006
16. Dijkman R. M., Dumas M., Ouyang C. Formal semantics and analysis of BPMN process models using Petri nets [Text], *Queensland University of Technology, Tech. Rep.*, 2007, pp. 1–30.
17. Kalenkova A. A., van der Aalst W., M. de Leoni Discovering, analyzing and enhancing BPMN models using ProM [Text], *Proceedings of the BPM Demo sessions 2014 Co-located with 12th International Conference on Business Process Management (BPM2014) Eindhoven, The Netherlands, September 10, 2014*, CEUR-WS. org, 2014, pp. 36–40.
18. Jung M., Kim H. S., Jo M. H., Tak K. H., Cha H. S., Son J. H. Mapping from BPMN-Formed Business Processes to XPD Business Processes [Text], *ICEB*, 2004, pp. 422–427.
19. Kopp A. M., Orlovskiy D. L. Ob odnom podhode k resheniju zadachi optimizacii struktury biznes-processov predpriyatija [Tekst], *Visnyk NTU «HPI». Serija: Systemnyj analiz, upravlinnja ta informacijni tehnologii*, 2015, No. 58, pp. 102–108.
20. Kluza K., Nalepa G. J. Proposal of square metrics for measuring business process model complexity [Text], *Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2012 Federated Conference on..IEEE*, 2012, pp. 919–922.
21. Cardoso J. Business process control-flow complexity: Metric, evaluation, and validation [Text], *International Journal of Web Services Research*, 2008, Vol. 5, No. 2, pp. 49.
22. Analiz predmetnoj oblasti oborota rabochej konstruktorskoj dokumentacii [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.kb-ametist.com/rus/18_publish/10.pdf
23. Zamjatina O. M. Modelirovanie sistem: uchebnoe posobie [Tekst]. Tomsk, Izd-vo TPU, 2009, 204 p.
24. Van der Aalst W. M. P. Patterns and xpd: A critical evaluation of the xml process definition language [Text], *BPM Center report BPM-03-09, BPMcenter. org*, 2003, pp. 1–30.
25. Shirokov L. A. Issledovanie sistem upravlenija: uchebnoe posobie [Tekst]. Moscow, MGIU, 2010, 168 p.