

РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ  
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

**Аннотация:** Описывается подход к трансформации моделей бизнес-процессов, созданных с помощью средств визуального моделирования, в аналитические модели, представленные в форме, пригодной для анализа с помощью математических пакетов.

**Ключевые слова:** моделирование бизнес-процессов, визуальные языки моделирования, трансформации моделей, анализ бизнес-процессов.

### **Введение**

Эффективное управление предприятиями и организациями невозможно без использования информационных и аналитических систем, которые создаются и функционируют на основе разрабатываемых аналитиками моделей. Понятие моделирования включает две задачи: создание модели (её описание в математических терминах или в нотациях языков моделирования) и её исследование с помощью тех средств, которые отвечают потребностям аналитиков, позволяют решить задачи поддержки принятия решений.

В настоящее время существует множество различных нотаций, которые могут применяться для разработки графических моделей бизнес-процессов, применяемых для решения различных задач: IDEF0 – для отображения логических связей между операциями; DFD – для представления потоков данных; eEPC – для описания процессов, управляемых событиями, и т.д. Для разработки визуальных моделей используются различные инструментальные средства, графические редакторы.

Выбор средств моделирования чаще всего диктует и выбор языка, применяемого для построения моделей. Одни и те же системы, процессы могут быть описаны на разных языках – в зависимости от того, для решения каких задач строятся модели. При этом аналитики вынуждены, переходя от решения одной задачи к другой, заново строить модели исследуемых объектов.

Для проведения всестороннего анализа моделей с применением различных математических пакетов (Matlab, Maple, MathCAD и пр.) необходимо построить аналитические модели в соответствующих терминах и форматах, применяемых в этих системах. При этом построение аналитических или численных моделей для систем большой размерности с целью проведения их анализа с помощью математических пакетов может стать нетривиальной задачей: помимо масштаба модели, другой возможной причиной затруднений перехода к аналитическому представлению графических моделей бизнес-процессов может выступать недостаток необходимых для создания модели данных.

Если описана модель бизнес-процесса большой размерности, представленная в какой-либо графической нотации, то переход к соответствующей аналитической модели, которая будет применима для дальнейшего исследования, может быть автоматизирован.

Существуют частные решения задачи преобразования моделей процессов и систем, основанные на применении сетей Петри [3, 21], имитационных моделей [4], специальных механизмов преобразования графических моделей [16, 17, 18].

В данной работе предлагается решить следующие задачи, связанные с преобразованием моделей для проведения многоаспектного анализа бизнес-процессов:

- 1) создать абстрактную графовую модель исследуемого бизнес-процесса на основе модели, разработанной аналитиком в нотациях применяемого им визуального языка моделирования бизнес-процессов;
- 2) выполнить трансформацию абстрактной графовой модели в одноцветную сеть Петри;

- 3) построить на основе абстрактной графовой модели модель системы массового обслуживания.

Построенные модели дают достаточно полное представление об исследуемом бизнес-процессе. Их анализ может быть выполнен средствами различных математических пакетов.

### ***Схема построения и анализа моделей***

С учетом существующих методов преобразования графических моделей бизнес-процессов, разработанных в различных нотациях, предлагается *общая схема получения графовых моделей бизнес-процессов*, основанная на нормализации и формировании их универсального внутреннего представления, которое может быть преобразовано в различные аналитические формы.

Предлагаемый подход включает следующие шаги:

- 1) разработка аналитиком графической модели бизнес-процесса в терминах используемого им визуального языка моделирования;
- 2) выполнение проверки соответствия построенной модели требованиям, которые предъявляются к нормализованной модели;
- 3) в случае несоответствия графической модели требованиям выполняется её нормализация;
- 4) формирование специального промежуточного представления бизнес-процесса на основе полученной нормализованной графической модели (экспорт модели);
- 5) разбор и загрузка промежуточного представления модели бизнес-процесса в среду выбранного для его анализа математического программного пакета;
- 6) доопределение модели (в частности, определение управляемых параметров модели) в среде используемого математического пакета;
- 7) перевод созданного промежуточного представления модели бизнес-процесса в систему алгебраических и/или дифференциальных уравнений в используемой среде математического пакета;
- 8) численное или символьное решение системы уравнений, полученной на предыдущем этапе;
- 9) формирование отчета о выполнении анализа бизнес-процесса (вывод и анализ результатов решения сформированной системы уравнений).

Данная последовательность действий опирается на реализацию алгоритмов получения графовых моделей в аналитической форме на основе исходных визуальных (графических) моделей, определенных с помощью какого-либо языка моделирования бизнес-процессов.

### ***Выбор графической нотации для моделирования бизнес-процессов***

Для того чтобы разработать и провести апробацию метода трансформации графических моделей бизнес-процессов, необходимо выбрать визуальный язык, с помощью которого аналитик может создавать модели бизнес-процессов.

При выборе нотации нужно учесть:

- 1) возможность получения формального описания бизнес-процессов в выбранной нотации;
- 2) необходимость внесения изменений в построенную модель для осуществления обработки средствами математических программных пакетов;
- 3) возможность разработки понятного для конечного пользователя алгоритма доопределения модели (задания управляемых параметров моделирования бизнес-процесса).

Результаты проведенного сравнения по данным критериям приведены в табл. 1.

На основании результатов анализа выбрана нотация, описывающая потоки данных, – DFD [14]. Данная нотация выбрана ещё и потому, что на данный момент она не является самой «популярной» при разработке моделей бизнес-процессов и имеющиеся средства визуального моделирования предлагают достаточно узкий спектр исследования моделей в данной нотации. В основном для анализа бизнес-процессов используются диаграммы UML

[8, 9, 10, 11, 15], IDEF3 [12, 13, 19], eEPC [4, 7] и пр., отражающие динамику потоков работ, цепочки событий. Хотя, на наш взгляд, из модели бизнес-процесса в нотации DFD можно извлечь достаточно большой объем информации, которая может быть полезна при принятии тех или иных управленческих решений.

Таблица 1. Сравнительный анализ нотаций моделирования бизнес-процессов

Нотация	Возможные показатели для исследования	Математический аппарат для исследования моделей
IDEF0	1) время выполнения операций; 2) временная загрузка исполнителей; 3) стоимостные оценки операций; 4) вероятностные оценки сценариев	системы алгебраических уравнений; системы дифференциальных уравнений
IDEF3	1) время выполнения операций; 2) стоимостные оценки операций; 3) вероятностные оценки сценариев	средства имитационного моделирования; системы алгебраических уравнений; системы дифференциальных уравнений; вероятностные математические модели; экономические модели оценки затрат;
DFD	1) время выполнения операций; 2) стоимостные оценки операций; 3) количество обращений и время обращений к базам данных; 4) временная загрузка исполнителей и внешних сущностей; 5) временные характеристики потоков данных; 6) объем извлеченных/загруженных данных; 7) вероятностные оценки сценариев (при их наличии)	
BPMN	1) время выполнения операций; 2) стоимостные оценки операций; 3) временная загрузка исполнителей; 4) временные характеристики потока управления; 5) вероятностные оценки сценариев	
eEPC	1) время выполнения операций; 2) стоимостные оценки операций; 3) временная загрузка исполнителей; 4) вероятностные оценки сценариев	

### **Определение основных показателей для выполнения расчетов при анализе моделей**

В соответствии с возможностями нотации DFD ниже перечислены *основные параметры*, значения которых могут быть заданы или рассчитаны для элементов DFD в ходе обработки аналитического представления модели бизнес-процесса (предметная область выбрана с учетом использования при выполнении бизнес-процессов, описанных в нотации DFD, информационных ресурсов):

- 1) *процесс* характеризуют:
  - a) *время выполнения*, которое складывается из времени, затраченного всеми исполнителями данного процесса;
  - b) *затраты ресурсов*, которые складываются из постоянных затрат и переменных затрат, зависящих от количества задействованных исполнителей и затраченного ими времени;
  - c) *количество запусков процесса*, определяемое в общем случае результатами моделирования исходного бизнес-процесса при заданных значениях параметров;
- 2) *поток* характеризуют:
  - a) *скорость/время* продвижения данных (запросов, заявок, результатов выполнения запросов и пр.) по потоку от одного процесса модели к другому либо от одного процесса модели к хранилищу данных и наоборот;
  - b) *объем данных*, который проходит по рассматриваемому потоку (актуально для

- потоков, которые соединяют процесс и хранилища данных);
- с) *затраты на работу потока*, связанные с организацией канала передачи данных, которые включают в себя как фиксированные затраты, так и переменные;
- 3) *хранилища данных* характеризуют:
- количество запросов на выборку данных* (заявок на получение данных), которые выполняются процессами модели;
  - количество запросов на добавление/обновление данных*, которые осуществляются процессами модели;
  - объем информации*, которая загружается в хранилище данных процессами;
  - объем информации*, которая извлекается из хранилища данных процессами.

Помимо численных показателей, характеризующих конкретные элементы модели бизнес-процесса, разработанной в нотации DFD, необходимо выделить показатели, которые могут быть рассчитаны на основе описанных выше характеристик (управляемых параметров), характеризующие рассматриваемую DFD-модель бизнес-процесса в целом:

- общее время выполнения* одного экземпляра бизнес-процесса, рассматриваемого в рамках данной модели;
- общий объем информации*, загруженной и извлеченной из хранилищ данных по запросам процессов в ходе реализации одного экземпляра бизнес-процесса;
- общие издержки*, связанные с выполнением одного экземпляра бизнес-процесса, включая постоянные и переменные затраты.

При реализации приложения учитывается, что часть характеристик рассматриваемого бизнес-процесса (управляемых параметров) необходимо явно определять пользователю. Соответственно зависимые показатели, характеризующие как отдельные элементы модели бизнес-процесса, так и все модели в целом, будут рассчитаны на основе математической модели, которая описана ниже.

### **Модель бизнес-процесса**

Рассмотрим основные формальные определения элементов модели бизнес-процесса, разработанной в терминах графической нотации DFD.

*Определение 1.* Графическая модель бизнес-процесса  $M$  называется *DFD-моделью*, если она представляет собой ориентированный помеченный граф:

$$M = (P, D, F), \quad (1)$$

где  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – множество вершин, представляющих *процессы модели*,  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$  – множество вершин, представляющих *хранилища данных модели*; а множество дуг  $F$ , представляющих *потоки данных модели*, является объединением двух множеств:

$$F = F_p \cup F_D, \quad (2)$$

где  $F_p = \{f_1^p, f_2^p, \dots, f_n^p\}$  – множество дуг, соединяющих вершины-процессы между собой,  $F_D = \{f_1^d, f_2^d, \dots, f_n^d\}$  – множество дуг, соединяющих вершины-процессы и вершины, представляющие хранилища данных модели.

*Определение 2.* *Межпроцессным потоком данных* DFD-модели  $M$  называется ориентированная дуга  $f_i^p = (p_i, p_j)$  из подмножества  $F_p$  множества  $F$  такая, что  $p_i, p_j \in P$  и  $p_i \neq p_j$ .

Таким образом, можно определить следующее характеристическое свойство для дуг – элементов множества  $F_p$ :

$$F_p = \{(p_i, p_j) \mid p_i, p_j \in P, p_i \neq p_j\} \subset P^2. \quad (3)$$

*Определение 3.* *Потоком данных «процесс-хранилище»* DFD-модели  $M$  называется ориентированная дуга  $f_i^d = (p_i, d_j)$  из подмножества  $F_D$  множества  $F$  такая, что

$p_i \in P, d_j \in D$ .

*Определение 4.* Потоком данных «хранилище-процесс» DFD-модели  $M$  называется ориентированная дуга  $f_i^d = (d_i, p_j)$  из подмножества  $F_D$  множества  $F$  такая, что  $p_j \in P, d_i \in D$ .

Характеристическое свойство для дуг – элементов множества  $F_D$  – определяется следующим образом:

$$F_D = \{(p_i, d_j) \mid p_i \in P, d_j \in D \vee (d_i, p_j) \mid p_j \in P, d_i \in D\} \subset P \times D \cup D \times P \quad (4)$$

*Определение 5.* Вершина-процесс  $p_i$  из множества  $P$  DFD-модели  $M$  называется *стартовой*, если ее полустепень захода равна 0, то есть  $d_{in}(p_i) = 0$ . При определении стартового процесса рассматривается подграф  $M_1 = (F_p, P)$ .

*Определение 6.* Вершина-процесс  $p_i$  из множества  $P$  DFD-модели  $M$  является *завершающей*, если ее полустепень исхода равна 0, то есть  $d_{out}(p_i) = 0$ . При определении завершающего процесса также рассматривается подграф  $M_1 = (F_p, P)$ .

*Определение 7.* Сценарий реализации бизнес-процесса, определенного с помощью DFD-модели  $M$ , представляет собой путь в графе  $M$ , который соединяет стартовую и завершающую вершину-процесс. Таким образом, сценарий  $S_i$  представляет собой упорядоченное подмножество вершин-процессов  $(p_1, p_2, \dots, p_k)$  множества всех вершин-процессов  $P$ , такое что между двумя соседними элементами множества  $S_i$  проходит межпроцессный поток данных, то есть следующее множество  $\{(p_1, p_2), (p_2, p_3), \dots, (p_{k-1}, p_k)\}$  является подмножеством множества всех межпроцессных потоков данных  $F_p$ .

На рис. 1 представлен пример бизнес-процесса, а на рис. 2 – пример графа DFD-модели  $M$ , соответствующий этой визуальной модели бизнес-процесса, построенной в нотации DFD до введения пометок для расчета показателей.

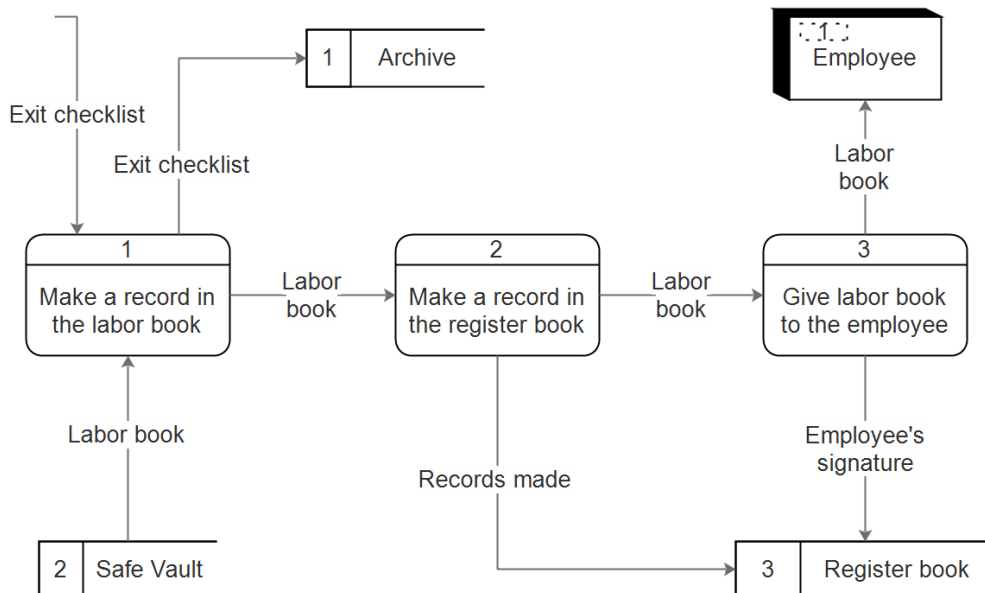


Рис. 1. DFD-модель процесса увольнения сотрудника

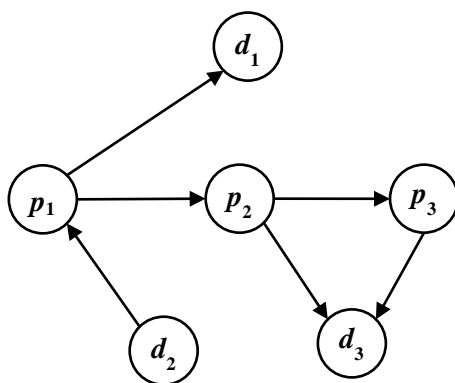


Рис. 2. Граф DFD-модели процесса увольнения сотрудника

### Правила нормализации модели

Как было отмечено, одним из этапов получения аналитического представления для графической модели бизнес-процесса является *нормализация*, в ходе которой выполняется так называемая *валидация модели* – проверка на соответствие модели определенным требованиям. Набор *правил нормализации* задает требования к модели бизнес-процесса в нотации DFD, гарантирующие возможность построения соответствующих аналитических моделей в нескольких форматах, перечисленных выше. Правила описываются в представленных выше терминах.

*Правило 1.* В DFD-модели  $M$  может существовать только одна стартовая вершина  $p_{start}$ . В противном случае данная модель  $M$  должна быть разделена на несколько моделей, имеющих единственные стартовые вершины.

*Правило 2.* В DFD-модели  $M$  должна существовать как минимум одна завершающая вершина  $p_{finish}$ ; В противном случае необходимо ввести дополнительную завершающую вершину-процесс в графе  $M$ . Отсутствие завершающей вершины в графе возможно при наличии циклов в графе, поэтому необходимо обеспечить возможность выхода (дуги) из цикла.

*Правило 3.* В DFD-модели  $M$  каждый процесс  $p_i$  должен иметь связь как минимум с одним другим процессом  $p_j$ , то есть  $(p_i, p_j) \vee (p_j, p_i) \in F_p$ . В противном случае вершина-процесс, не имеющая связи с другими вершинами-процессами модели  $M$  должна быть удалена.

*Правило 4.* В DFD-модели  $M$  каждый процесс  $p_i$  должен иметь связь как минимум с одним хранилищем данных  $d_j$  через поток «процесс-хранилище» или «хранилище-процесс», то есть  $(p_i, d_j) \vee (d_j, p_i) \in F_p$ . В противном случае вершина-процесс, не имеющая связи с вершинами-хранилищами модели  $M$  должна быть удалена.

*Правило 5.* В DFD-модели  $M$  каждое хранилище данных  $d_i$  должно иметь входную/выходную связь (поток данных «процесс-хранилище» или «хранилище-процесс» соответственно) как минимум с одним процессом  $p_i$ . В противном случае вершина-хранилище, не имеющая связи с другими вершинами-процессами модели  $M$  должна быть удалена.

Описанные выше правила нормализации составляют основу для программной реализации нормализации исходной модели бизнес-процесса, определенной в нотации DFD. Алгоритмы выполнения нормализации в данной статье не рассматриваются.

### Механизм расчета показателей

Для того чтобы данная модель могла обеспечить процесс расчета основных показателей исследуемого бизнес-процесса, определенных выше, необходимо выполнить

дополнительное преобразование графа DFD-модели  $M$ , введя пометки дуг и вершин (ввод дополнительной информации должен выполняться пользователем). Формальные определения параметров и правила их доопределения в данной работе не рассматриваются.

При определении механизма расчета введенных выше показателей исходный граф модели необходимо разделить на два подграфа – граф межпроцессных потоков данных  $M_1 = (F_p, P)$  и двудольный граф взаимодействия процессов и хранилищ данных  $M_2 = (F_d, P)$ . Пример разбиения графа представлен на рис. 3.

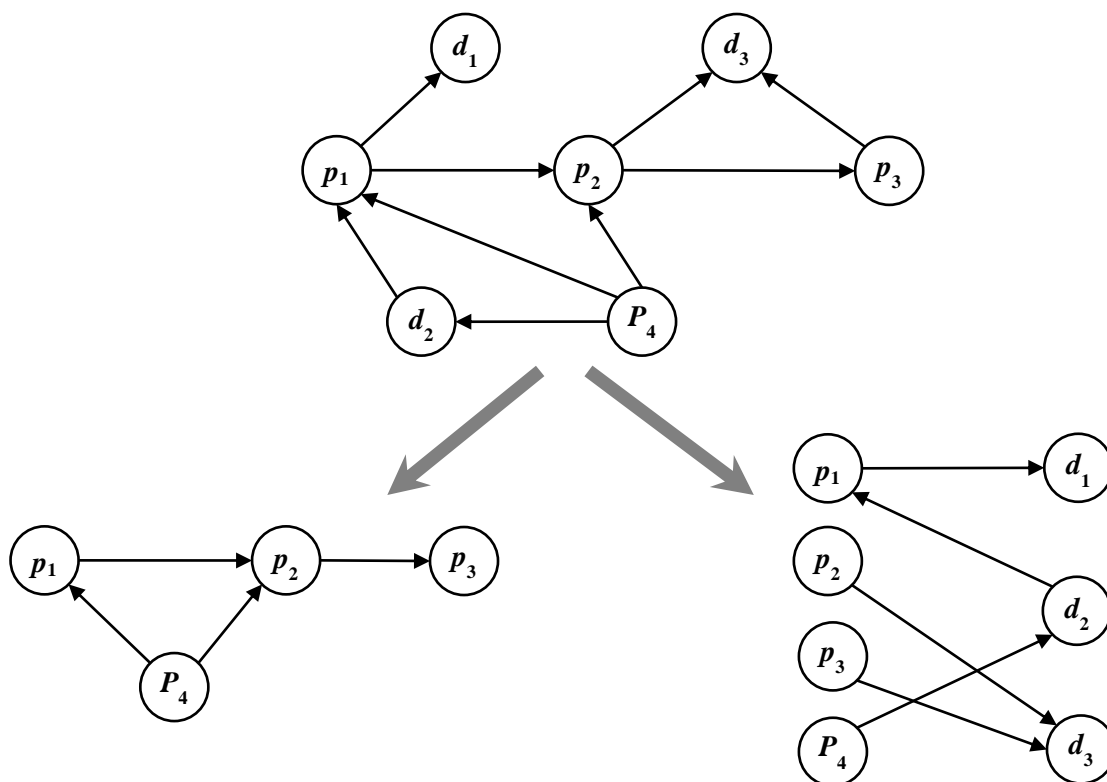


Рис. 3. Разбиение исходного графа на подграфы

Граф межпроцессных потоков данных используется при анализе сценариев реализации бизнес-процесса, а граф взаимодействия хранилищ данных и процессов – при определении объемов обработанной информации.

Поскольку при реализации исходного бизнес-процесса возможно несколько сценариев, необходимо для каждого межпроцессного потока данных  $(p_i, p_j)$  ввести дополнительные пометки  $P_{ij}$ , определяющие вероятность перехода по данной дуге.

Вероятность реализации каждого из сценариев  $S_i$  исходного бизнес-процесса определяется как

$$P(S_i) = \prod_{\substack{p_i, p_j \in S_i, \\ p_i \prec p_j}} P_{ij} \quad (5)$$

С использованием введенной модели и численных показателей (характеристик процессов) разработан механизм расчета следующих общих показателей рассматриваемой DFD-модели  $M$ :

- 1)  $T_{total}$  – общее время реализации бизнес-процесса, рассматриваемого в рамках данной модели;
- 2)  $I_{total}$  – общий объем обработанной и переданной по потокам информации в ходе реализации бизнес-процесса;

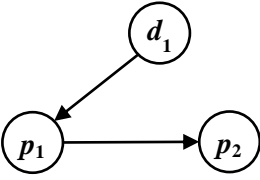
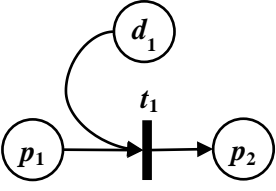
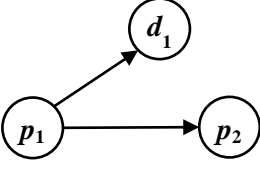
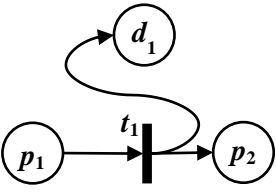
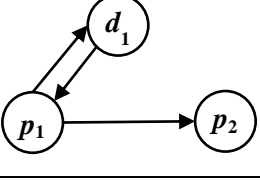
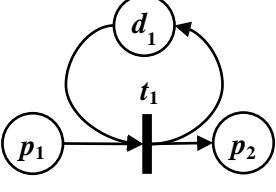
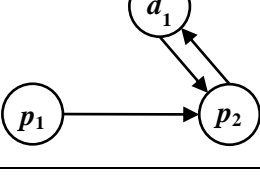
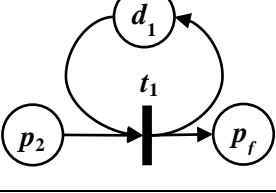
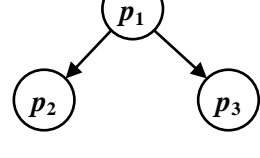
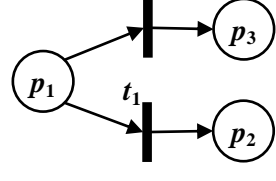
3)  $C_{total}$  – совокупные издержки, связанные с выполнением рассматриваемого бизнес-процесса.

Прежде чем выполнять расчет данных показателей, выполняется расчет показателей реализации отдельных сценариев исходного бизнес-процесса, на основе которых определяются общие показатели реализации бизнес-процесса, соответствующего DFD-модели  $M$ .

### Трансформация DFD-модели в сеть Петри

Для получения более точной картины возможных проблем в ходе реализации исходного бизнес-процесса, исследуемого с помощью DFD-модели, можно применить одноцветных сетей Петри. Для этого необходимо разработать правила преобразования DFD-модели бизнес-процесса в соответствующую сеть Петри. В основе этих правил – соответствие элементов этих двух типов моделей, показанное в табл. 2.

Таблица 2. Соответствие элементов DFD-модели и сети Петри

Интерпретация элемента	DFD-модель	Сеть Петри
Запрос информации из хранилища данных во время выполнения процесса		
Выгрузка информации в хранилище данных во время реализации процесса		
Запрос и выгрузка информации в хранилище данных во время реализации процесса		
Запрос и/или выгрузка информации в хранилище данных во время реализации завершающего процесса		
Альтернативный ход развития исходного бизнес-процесса		

Результат применения правил преобразования DFD-модели, показанной на рис. 4, в одноцветную сеть Петри показан на рис. 5.



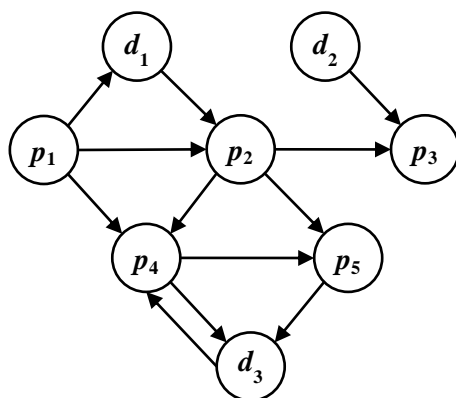


Рис. 4. Пример DFD-модели бизнес-процесса

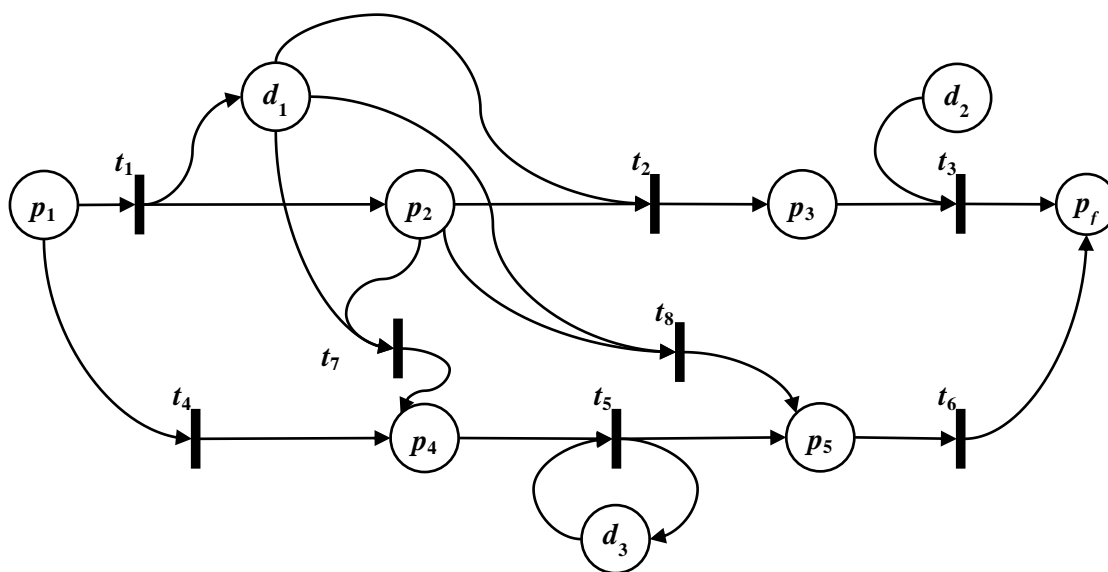


Рис. 5. Модель одноцветной сети Петри бизнес-процесса

С помощью построенной сети Петри можно реализовать дополнительные возможности анализа бизнес-процесса, описанного аналитиком в нотации DFD.

### **Применение систем массового обслуживания**

Описанные выше модели не решают всех задач анализа бизнес-процессов. Другие аспекты реализации процессов, описанных в нотации DFD, можно изучить, используя аппарат систем массового обслуживания (СМО), схемы гибели и размножения.

В рамках схемы гибели и размножения определяются вероятности нахождения рассматриваемой системы в одном из  $n$  состояний. Состояние системы массового обслуживания  $S_i$  означает, что если система находится в данном состоянии, то занятыми являются  $i$  обслуживающих устройств из всех  $n$  доступных.

Разработан метод преобразования модели, который позволяет выполнить анализ бизнес-процесса как СМО, получив в результате вероятности нахождения бизнес-процесса в одном из нескольких состояний, характеризующихся числом занятых обслуживающих устройств.

Полученные результаты могут послужить основанием для принятия решения о проведении реинжиниринга бизнес-процесса, направленного, прежде всего, на калибровку интенсивности обслуживания устройств, в частности, для снижения простоев (в терминах теории СМО – уменьшения вероятности нахождения в состоянии, когда не заняты все или занята лишь малая часть обслуживающих устройств); для обеспечения перераспределения нагрузки между обслуживающими устройствами (более равномерного распределения вероятности нахождения системы в возможных состояниях).

### **Программная реализация**

В исследовательском прототипе программной системы трансформации визуальных моделей бизнес-процессов реализованы следующие компоненты:

- 1) компонент создания и обработки промежуточного представления графической модели бизнес-процесса;
- 2) компонент загрузки и обработки промежуточного представления модели в математический программный пакет Matlab.

При разработке компонента создания и обработки промежуточного представления графической модели бизнес-процесса использованы следующие инструментальные средства:

- 1) интегрированная среда разработки (IDE) Microsoft Visual Studio 2012;
- 2) средства языка программирования C# для обработки XML-файлов;
- 3) CASE-средство автоматизированной разработки приложений CASEBERRY [1, 2, 5];
- 4) средства технологии ASP.NET для разработки модуля доопределения модели.

При разработке компонента загрузки и обработки промежуточного представления модели в математический программный пакет Matlab использованы следующие средства:

- 1) интегрированная среда разработки (IDE) пакета Matlab;
- 2) интегрированная среда разработки пользовательского интерфейса (GUIDE) Matlab;
- 3) средства языка программирования Java для загрузки и обработки XML-файлов.

### **Заключение**

Реализованный исследовательский прототип программной системы показал практическую значимость разработанного подхода. Открытая архитектура системы позволяет расширять функциональность за счет подключения новых программных компонентов, в которых, в частности, могут быть реализованы средства трансформации визуальных моделей в другие типы аналитических моделей для исследования различных аспектов реализации бизнес-процессов.

Для работы с визуальными моделями других типов могут быть использованы также средства трансформации моделей DSM-платформы MetaLanguage [6, 20].

### **Библиографический список**

1. База знаний продукта CASEBERRY // Flexberry Wiki [Электронный ресурс] [Режим доступа: <http://wiki.flexberry.ru>] [Проверено: 23.04.2015].
2. Бизнес-логика // База знаний продукта CASEBERRY [Электронный ресурс] [Режим доступа: <http://wiki.flexberry.ru/Бизнес-логика.ashx>] [Проверено: 23.04.2015].
3. Доррер М.Г. Алгоритм преобразования моделей бизнес-процессов в одноцветные сети Петри // Моделирование и анализ информационных систем. 2010. Т. 17, вып. 2. С. 5-16.
4. Ланцев Е.А., Доррер М.Г. Агентное имитационное моделирование бизнес-процессов в нотации eEPC // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. Т. 3, вып. 85. С. 86-92.
5. О продукте CASEBERRY // Группа компаний ИВС [Электронный ресурс] [Режим доступа: <http://ivs-corp.ru/products/125>] [Проверено: 23.04.2015].
6. Сухов А.О. Методы трансформации визуальных моделей / Материалы III международной научно-технической конференции «Технологии разработки информационных систем ТРИС–2012». Таганрог: Изд-во Технол. инст. ЮФУ, 2012. Т.1. С. 120-124.
7. ARIS Business Process Analysis: Overview // Software AG [Электронный ресурс] [Режим доступа: [http://www.softwareag.com/corporate/products/aris\\_alfabet/bpa/overview/default.asp](http://www.softwareag.com/corporate/products/aris_alfabet/bpa/overview/default.asp)] [Проверено: 20.04.2015].

8. *Badreddin O.B.* Umple: a Model-Oriented Programming Language // Proceedings of ACM/IEEE 32nd International Conference “Software Engineering”. 2010. Vol. 2. P. 337-338.
9. *Bendraou R., Jézéquel J.-M., Gervais M.-P., Blanc X.* A comparison of six UML-based languages for Foundation software process modeling // Software Engineering. 2010. Vol. 36 (5). P. 662-675.
10. *Hansen H.H., Ketema J., Luttik B., Mousavi M.R., van de Pol J.* Towards model checking executable UML specifications in mCRL2 // Innovations in Systems and Software Engineering. 2012. Vol 6 (1-2). P. 83-90.
11. *Hansen H.H., Ketema J., Luttik B., Mousavi M.R., van de Pol J., dos Santos O.M.* Automated verification of executable UML models // Formal Methods for Components and Objects: Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg. Vol. 6957, 2012. P. 225-250.
12. *Kim C.-H., Weston R.H., Hodgson A., Lee K.-H.* The complementary use of IDEF and UML modelling approaches // Computers in Industry. № 50. 2003. P.35-56.
13. *Kim C.-H., Yim D.-S., Weston R.H.* An Integrated use of IDEF0, IDEF3 and Petri net methods in support of business process modelling // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part E : Journal of Process Mechanical Engineering. Vol. 215. P. 317-330.
14. *Le Vie S. D.* Understanding Data Flow Diagrams [Электронный ресурс] [Режим доступа: [http://ratandon.mysite.syr.edu/cis453/notes/DFD\\_over\\_Flow\\_charts.pdf](http://ratandon.mysite.syr.edu/cis453/notes/DFD_over_Flow_charts.pdf)] [Проверено: 22.04.2015].
15. *Mellor S.J., Balcer M.J.* Executable UML: A Foundation for Model-Driven Architecture. Addison-Wesley Professional, 2002.
16. *Poryazov S.* The overlaying free terminal states concept // Proceedings of a Conjoint Seminar “Modeling and Control of Information Processes”. 2009. P. 110-116.
17. *Poryazov S.* Towards Useful Overall Network Teletraffic Definitions // International Journal “Information Technologies and Knowledge”. 2008. Vol. 2. P. 193-199.
18. *Poryazov S.* What is Offered Traffic in a Real Telecommunication Network? // Proceedings of ITC19/Performance Challenges for Efficient Next Generation Networks. 2005. P. 707-718.
19. *Sterle M.* Intelligent Assistant for Simulation Model Generation from IDEF3 Process descriptions [Электронный ресурс] [Режим доступа: <http://grantome.com/grant/NSF/IIP-9060443>] [Проверено: 10.06.2015].
20. *Sukhov A.O., Lyadova L.N.* Visual Models Transformation in MetaLanguage System // Advances in Information Science and Applications. Volumes I & II. Proceedings of the 18th International Conference on Computers (part of CSCC '14) / Edited by: E.B. Zamyatina. Vol. 1-2. Santorini Island : CSCC, 2014. P. 460-467.
21. *Zhou W., Yang F., Zhu Y.* A transformation method of OPM Model to CPN Model for System Concept Development // Proceedings of the First International Conference on Information Science and Electronic Technology (ISET). 2015. P. 98-102.

L.N. Lyadova, R.A. Nesterov

#### ANALYTICAL MODELS DEVELOPMENT BASED ON THE VISUAL MODELS OF BUSINESS PROCESSES

**Abstract:** An approach to transformation of the business processes models, created with visual modelling tools, to the analytical models provided in the form suitable for the analysis with mathematical software tools is described.

**Keywords:** business processes modelling, visual modelling languages, model transformation, business process analysis.