

УДК 004.9:004.75

**Ю. М. Лисецкий**, д-р техн. наук  
ДП «ЭС ЭНД ТИ УКРАИНА», г. Киев

## **ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

Рассмотрена проблема моделирования предприятия, как сложной производственной системы. Показано, что наиболее адекватным для построения бизнес-моделей, описывающих функционирование предприятия, является имитационное (динамическое) моделирование, которое рассматривает модель как совокупность правил, которые определяют, в какое состояние в будущем перейдет моделируемый объект из некоторого предшествующего состояния. Описано, что процесс динамического моделирования предприятия можно выразить следующим образом: предприятие сводится к иерархической модели, формируемой из элементарных функциональных модулей (бизнес-функций), которые объединяются в информационные потоки (бизнес-процессы), и организационной структуры предприятия (бизнес-организации). А совокупность моделей бизнес-функций, моделей бизнес-процессов и модели бизнес-организации представляет собой имитационную бизнес-модель предприятия. Рассмотрены сети Петри, в качестве средства построения динамических моделей систем и их анализа, с помощью которого можно получить информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы. Эта информация нужна для оценки моделируемой системы и выработки предложений по её усовершенствованию, что позволяет гибко использовать данный математический аппарат для отображения и анализа причинно-следственных связей в различных процессах, происходящих в дискретных динамических системах. Поведение таких систем описывается выполнением событийной модели, а с помощью сети Петри моделируется структура и динамика ее функционирования. Приведена методика и элементы динамического моделирования предприятия на основе сетей Петри. Описаны виды сетей Петри и их основные свойства. Даны рекомендации по моделированию процессов в потоках сетей Петри. Показано, что сети Петри являются достаточно эффективным

**Ключевые слова:** *модель, предприятие, бизнес-процессы, бизнес-функции, классификация, правила, роли, сети Петри, конструктивные элементы, конструктивные блоки.*

**Введение.** Основная цель моделирования заключается в том, чтобы модель достаточно хорошо отражала исследуемый аспект функционирования системы. Наиболее адекватным для моделирова-

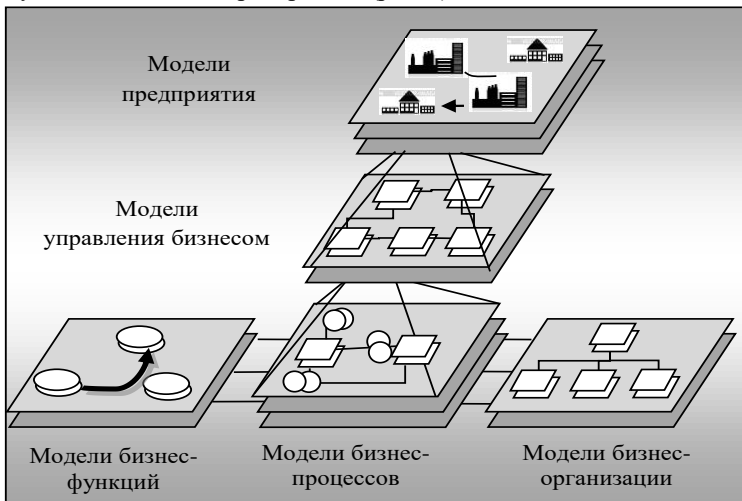
ния бизнес-деятельности предприятия, то есть для построения бизнес-моделей, описывающих функционирование предприятия, является имитационное моделирование.

Имитационное (динамическое) моделирование — создание модели, имитирующей поведение той или иной системы в изменяющихся во времени условиях [1].

К помощи имитационных моделей обращаются в случаях, когда объект моделирования настолько сложен, что адекватно описать его поведение математическими уравнениями невозможно либо затруднительно. Имитационное (динамическое) моделирование рассматривает модель как совокупность правил, которые определяют, в какое состояние в будущем перейдет моделируемый объект из некоторого предшествующего состояния [1].

**Цель статьи.** Рассмотрение процесса динамического моделирования предприятия на основе сетей Петри.

**Основная часть. Методика и элементы имитационного (динамического) моделирования предприятия.** В целом процесс динамического моделирования предприятия (Dynamic Enterprise Model) можно выразить следующим образом: предприятие сводится к иерархической модели, формируемой из элементарных функциональных модулей (бизнес-функций), которые объединяются в информационные потоки (бизнес-процессы), и организационной структуры предприятия (бизнес-организации) [2]. Совокупность моделей бизнес-функций, моделей бизнес-процессов и модели бизнес-организации представляет собой имитационную бизнес-модель предприятия (рис. 1).



*Рис. 1. Уровни динамического моделирования предприятия*

Бизнес-модели состоят из следующих компонентов:

- модель бизнес-функций, в состав которой входят дерево бизнес-функций, отношение оптимизации, «ноу-хау» в области совершенствования бизнеса, ключевые показатели деятельности;
- модель бизнес-процессов, которая состоит из основных бизнес-процессов и детальных бизнес-процессов.

В основе концепции динамического моделирования лежит построение (моделирование) предприятия в терминах и методами сетей Петри. При этом используются следующие подходы [2]:

- деятельность предприятия делится на виды в соответствии с функционально-организационной структурой;
- виды деятельности связаны двумя типами каналов: информационным и управляющим. Первый передает необходимую входную информацию для инициализации деятельности, а второй –право действия (знак исполнения, при поступлении которого на вход начинается выполнение бизнес-процессов, составляющих сущность деятельности);
- если деятельность имеет более одной бизнес-функции в бизнес-процессе, управление переходами происходит таким же образом — передачей входных данных и знака каналами, по которым связываются бизнес-функции в бизнес-процессы;
- после выполнения деятельности и по ее результатам знак копируется в один или несколько соответствующих каналов для передачи факта осуществления деятельности;
- после выполнения деятельности и по ее результатам (или по совокупности результатов нескольких видов деятельности) определяется одно и только одно новое направление знака.

Для понимания процедуры динамического моделирования предприятия следует рассмотреть сущность и свойства элементов динамической модели предприятия [2].

*Модель бизнес-процесса* — это описание общего производственного процесса в терминах конкретной корпоративной системы. Такая модель описывает бизнес-процессы в определенном направлении деятельности, которые могут поддерживаться конкретной корпоративной системой и как это может быть осуществлено. В модели можно создать иерархию, в результате чего, например, поток заказов внутри организации может быть смоделирован в так называемую «основную» процедуру, тогда как подробности о данном потоке заказа приводятся в схемах детальных процедур.

Модель бизнес-процесса имеет следующие цели:

- дать наглядное представление того, каким образом корпоративная система работает с бизнес-процессами высокого уровня, особенно

для определенного направления или вида деятельности (основные процедуры);

- дать наглядное представление и задокументировать общие бизнес-процессы (подробные процедуры), поддерживаемые системой;
- дать наглядное представление и задокументировать периодические детальные бизнес-процессы;
- дать наглядное представление и задокументировать процедуры начального запуска и установочные процедуры, необходимые для внедрения системы;
- зафиксировать разработку процесса (особенно для детальных бизнес-процессов) для приведения в движение операционного рабочего процесса;
- задокументировать административные процессы, при которых возможно приписать владельцев бизнес-процессов в зависимости от рода деятельности, должности, полномочий, должностных инструкций и тому подобное;
- разработать и задокументировать преобразования корпоративной системой бизнес-процессов, связанных с конкретным проектом.

Бизнес-процессы имеют следующие характеристики:

- бизнес-процессы состоят из ряда компонентов (состояний, видов деятельности и контроля). Работа является основной частью бизнес-процессов. Состояние предшествует каждому виду деятельности и определяется им. Деятельность может представлять собой сеанс работы с корпоративной системой, быть прикладным программным обеспечением, которое не принадлежит к ней, и неавтоматизированную деятельность или встроенный бизнес-процесс;
- бизнес-процессы моделируются на основе сетей Петри и могут иметь несколько иерархических уровней;
- должностные инструкции, документы аналогового вывода и коды утилит (сервисных программ) могут быть соотнесены с видами деятельности. Должностные инструкции могут содержать особую вспомогательную информацию для сеанса в пределах конкретного бизнес-процесса. В рамках определенного вида деятельности возможно соотнесение документа аналогового вывода, созданного в рамках данного вида деятельности. Коды утилит — это блоки сеансов, которые могут быть использованы как вспомогательные сеансы (сеанс вывода на экран, распечатка на принтере) при осуществлении определенного вида деятельности;
- вывод бизнес-процесса на экран в графическом виде может использоваться как интерфейс вместо структуры меню;
- работники и выполняемые ими функции могут быть соотнесены с видами деятельности бизнес-процесса;

- ссылки на другой бизнес-процесс могут быть применены к такому компоненту, как состояние, в результате чего может быть дано определение бизнес-процессу из нескольких переходов;
- любой узел контроля может иметь несколько выходных стрелок. Каждой стрелке может соответствовать определенное условие. С помощью так называемых «правил» данным условиям может быть предоставлено значение. Когда бизнес-процесс выводится на экран, происходит оценка значения условия, и, если условие не выполняется, часть диаграммы выводится на экран в затемненном виде.

В зависимости от модели бизнес-функции или установленных параметров схема бизнес-процесса может быть скомпонована динамично. В результате с самого начала общая схема будет конкретно ориентирована на одну из определенных бизнес-моделей. Работа является основной частью бизнес-процессов. Выделяют следующие типы работ:

- ручная работа — работа, не связанная с приложением;
- бизнес-процесс — работа как процесс, являющийся составной текущего процесса;
- сеанс;
- прикладная программа — программа, запускаемая с помощью вызова оболочки операционной системы;
- управляющая работа обозначает момент принятия решения в процессе, после чего процесс может разветвляться.

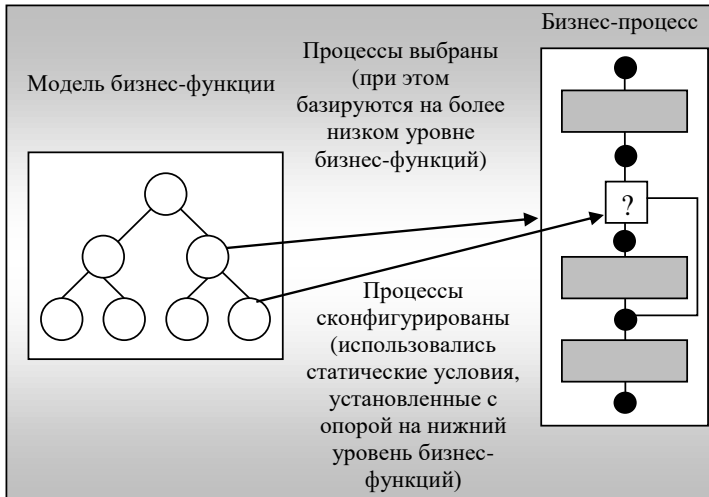
При описании работы выбирается тип работы, тип управляющего элемента (если работа является управляющей работой), код (если работа бизнес-процессом, сеансом, прикладной программой), аргумент (для сеанса аргумент определяет набор действий пользователя, которые ему разрешено выполнять во время работы в потоке работ), описание, категория работ, административно-организационный документ (связывает тип документа с работой), утилита, выбор типа события: событие пользователя, внешнее событие (работа ждет срабатывания внешнего триггера), событие таймера (работа ждет наступления определённого времени), автоматическая событие (если работа может быть выполнена без вмешательства пользователя) [2].

*Классификация бизнес-процессов.* В архиве бизнес-процессов различают главные и детализированные процессы. Главные процессы, воспроизводя общий товаро- и документооборот, соответствующие концептуальной модели, определенные специализацией бизнеса и, в принципе, являются уникальными. Детализированные процессы имеют обобщенный характер и могут применяться во многих секторах.

*Модель бизнес-функций.* Модель бизнес-функции представляет собой функциональную иерархическую декомпозицию бизнес-функций.

Отношения между такими бизнес-функциями образуют бизнес-процессы (рис. 2).

Бизнес-функции используются для достижения конкретных целей. В модели бизнес-функции они описываются терминами, привычными для бизнеса (а не терминами корпоративной системы). На низшем уровне бизнес-функции могут варьироваться в зависимости от варианта бизнес-модели. В этом случае подобные бизнес-функции называют вариантами бизнес-функции [2].



*Рис. 2. Преобразование бизнес-функций в бизнес-процессы*

Данный компонент моделирования предназначен для достижения следующих целей:

- модель бизнес-функции может быть использована как первый логический шаг в процессе моделирования, в котором на базе общих целей и бизнес-функций может быть создана модель бизнес-процесса;
- модель бизнес-функции может применяться как вспомогательное средство для советников и консультантов при проведении презентаций для руководства, на которых демонстрируется модель предприятия для определенной отрасли промышленности;
- модель бизнес-функции может служить средством представления отраслевого «ноу-хау» в области совершенствования хозяйственной деятельности (например, расширение направлений оптимизации бизнес-функций), лучшей практики ведения бизнеса и показателей деятельности;
- модель бизнес-функции может быть использована как инструмент наложения нейтральной бизнес-модели, определенной в терминах,

привычных в бизнесе, в специфическое для корпоративной системы решения.

Модель бизнес-функции может быть передана следующими характеристиками:

- бизнес-функции подаются как узлы в древовидной диаграмме, в которой может перемещаться пользователь;
- бизнес-функции могут объясняться текстами, в которых описываются характеристики отдельной бизнес-функции;
- с бизнес-функциями могут быть связаны показатели деятельности. В бизнес-моделях проекта конкретному показателю деятельности может быть приписано стандартное значение;
- между вариантами бизнес-функции могут существовать отношения оптимизации, указывающие на возможность поэтапного внедрения данных бизнес-функций. Отношение оптимизации могут быть связаны с текстами, с помощью которых описываются организационные аспекты оптимизации процессов;
- в модели бизнес-функции проекта варианты бизнес-функций объединяются с отношениями оптимизации, могут быть связаны с фазами внедрения.

*Классификация бизнес-функций.* Архив обобщенных бизнес-функций для всей промышленности требует системы классификации, чтобы иметь возможность отыскать необходимую структуру при формировании референтной модели. В системе динамического моделирования рассматривается иерархическое дерево бизнес-функций для классификации, соответствующее стандартной структуре, используемой британской аудиторско-консалтинговой компанией Ernst&Young [2]. В рамках этой структуры определены четыре иерархических уровня:

- мега-функции — каждая компания может быть классифицирована в соответствии с шестью мега-функциями (табл. 1). Эти мега-функции имеют обобщенный характер и не подчиняются определенной специализации деятельности. Упомянутые функции охватывают как управление, так и процессы стратегического планирования, развития и исполнения;
- главные функции — каждая мега-функция может включать несколько основных функций. Это означает, что имеет место функциональная декомпозиция. Главная функция теснее связана со специализацией бизнеса, чем мега-функция. Именно поэтому архив главных функций будет расти в процессе увеличения количества специализированных моделей бизнеса;
- базовые функции — каждая базовая функция представляет главный процесс в процессной модели. В совокупности они определены для одного варианта документооборота, который будет проработан;

- бизнес-функции, опции и варианты — базовые функции выражаются через формирование определенных подчиненных функций. Кроме этого, опции и варианты могут быть определены обслуживающей системой для замены или дополнения основного содержания бизнес-процессов.

В табл. 1 приведена стандартная классификация для бизнес-функций в соответствии со стандартом Ernst&Young.

Таблица 1

*Стандартная классификация бизнес-функций*

<b>Мега-функции</b>	<b>Главные функции</b>
1. Приобретение нового бизнеса	11. Рыночные исследования 12. Перспективы, клиентура, соотношения 13. Реклама, публикация, связь 14. Технологические нововведения, системные исследования 15...
2. Исполнение (реализация)	21. Деловое планирование 22. Контроль исполнения 23. Деловой контроль (управление) 24...
3. Поддержка	31. Финансовый бухгалтерский учет 32. Планирование и контроль (управление) 33. Казначейское планирование 34. Работа с персоналом 35...
4. Новое изделие и проект обслуживания	41. Нововведение изделия 42. Нововведение процесса 43. Нововведение обслуживания (службы) 44...
5. Действия: (подразделяются)	
5a Продажа	5a1. Заказ и предложение 5a2. Коммерческая обработка заказа 5a3. Ассигнование и финансовая оценка 5a4...
5b Разработка	5b1. Инженерное проектирование 5b2. Проведение разработки 5b3. Документация 5b4...
5c Планирование	5c1. Проектирование 5c2. Планирование производства и управление 5c3. Планирование инвентаря 5c4...
5d Производство	5d1. Управление цехом 5d2. Сбор данных 5d3. Регистрация использованных материалов 5d4...



Продолжение таблицы 1

5e Доставка	5e1. Приемные экзамены 5e2. Транспортирование и установка 5e3....
5f Закупка	5f1. Приобретение материалов 5f2. Закупка товарной продукции 5f3. Заключение договоров субподряда 5f4....
6. Послепродажная поддержка	61. Обслуживание жалоб 62. Гарантийное обслуживание 63. Послегарантийный ремонт 64. Планирование и контроль системы обслуживания

При внешней кодировке используется иерархичность классификации, например:

- мега-функции: 1, 2, 3,...;
- основные функции: 1.1, 1.2, 1.3,...;
- базовые функции: 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3;
- функции и варианты: 1.1.1.1, 1.1.2.1, 1.1.3.1,...

**Правила.** Для построения из бизнес-функций бизнес-процессов и объединение последних в рамках модели бизнес-организации используется ряд правил, а именно:

1. *Правила целостности.* Правила целостности используются для проверки согласованности модели. Пример целостности: если есть в наличии вариант бизнес-функции «Прямая поставка», то бизнес-функции «Обработка заказа на приобретение» и «Обработка заказа на сбыт» должны быть представлены в модели. После того, как бизнес-модель создана, можно проверить ее согласованность, оценивая все правила целостности.

2. *Правила преобразования.* Модель бизнес-функции может быть автоматически преобразована в модель бизнес-процесса с помощью правил преобразования. Например: если вариант бизнес-функции «Обработка заказа на приобретение контрактам» был определен, необходимо выбрать бизнес-процесс «Обработка контрактов». Так же с помощью данных правил преобразования можно показать непосредственную связь модели бизнес-функции с моделью бизнес-процесса.

3. *Правила конфигурации.* Правила конфигурации используются для присвоения значения параметра в зависимости от его наличия в бизнес-функциях, бизнес-процессах или комбинаций последних в бизнес-модели. (Пример правила конфигурации: Если был определен вариант бизнес-функции «Обработка заказа на покупку в ЭОД (Электронный обмен данными)», то значение параметра ЭОД настраивается на «да»).

4. *Правила статического режима.* Контроль является одним из компонентов бизнес-процесса и используется для моделирования вариантов. Под термином «вариант» следует понимать условие. Условия

соединяются с входными стрелками на диаграммах сетей Петри. В дополнение к тексту в диаграмме условие может содержать значение, которое устанавливается путем использования правил. Если значение логического условия «Ошибочно», то в результате такая неактивная ветвь «дерева» сети Петри подается в затемненном виде. Поскольку эти правила могут быть определены в середине модели бизнес-функции, то возможным становится динамическое конфигурирование бизнес-процесса.

*Роли и обязанности.* Роль является функцией, которая может быть реализована только теми работниками, за которыми эта функция закреплена. Роли и, если необходимо, обязанности могут быть связаны с работами, бизнес-процессами, организационными компонентами и бизнес-функциями. С помощью ролей определяется, какие работники (группы работников) уполномочены на выполнение определенной работы (или имеют соответствующие обязанности) [2].

Различают два типа ролей:

«Роли по организационным единицам» являются функциями работников, связанных с организационными единицами в специфической для заказчика организационной диаграмме (проектной модели).

«Роли в бизнес-функциях» являются функциями работников, выполняемых в рамках определенных бизнес-функций.

Обязанность представляет собой определенную задачу, с помощью которой специфицируется роль (то есть функция, выполняемая группой работников), например:

- «Доступность для рекомендации»;
- «Необходимость в консультации»;
- «Необходимость в информировании»;
- «Принятие окончательного решения»;
- «Выполнение»;
- «Контроль исполнения».

С работой могут быть связаны не более шести ролей. Для каждой роли можно задать не более шести обязанностей.

Роли и обязанности унаследуются на нижних уровнях бизнес-процессов. Если для бизнес-процесса одна роль используется для всех обязанностей во всех работах, то достаточно связать эту роль и соответствующие обязанности с данным процессом. Наследование ролей и обязанностей не применяется к организационным компонентам и бизнес-функциям.

*Модель бизнес-организации* — это описание организационной структуры и структуры персонала организации. Структура персонала может быть описана на абстрактном уровне с помощью описания ролей или на конкретном уровне — сопоставлением работников и организационных единиц [2].

Модель бизнес-организации имеет следующие цели:

- получить представление о текущей и, по возможности, будущей (целевой) организационной структуре и задокументировать их;
- получить представление об изменениях в структурах подразделений компании в зависимости от расположения их в общей системе и задокументировать их;
- сделать возможным создание интерфейса пользователя корпоративной системы в разрезе работников или выполняемых функций, что облегчается наложением организационной модели на модель бизнес-процесса.

Модель бизнес-организации имеет следующие характеристики:

- организационная модель состоит из ряда организационных компонентов. С этими организационными компонентами можно соотнести имя, тип и текст;
- между организационными компонентами могут быть установлены функциональные отношения. К таким функциональными отношениями можно соотнести текст;
- организационная модель может состоять из одной или более организационных схем, которые могут соотноситься друг с другом посредством определения компонентов субдиаграмм;
- пользователи и функции, выполняемые ими, могут соотноситься с организационными компонентами;
- организационные модели могут определяться по фазам оптимизации так, чтобы создавать наглядное представление об эффекте проекта наложения бизнес-процессов на организацию.

В общем случае модель предприятия включает следующие объекты: основные данные, референты и модели, проектные модели [2].

Прежде чем воспользоваться некоторой референтной моделью и построить на ее основе для конкретного предприятия проектную модель, надо сначала ввести некоторые основные данные (рис. 3).

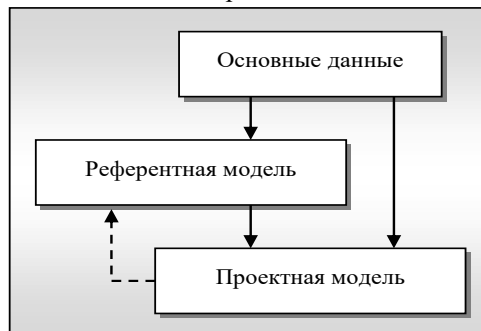


Рис. 3. Связь между объектами моделирования

Во-первых, должна быть определена версия, на основе которой будет создаваться модель. Во-вторых, компоненты, используемые в моделях, должны быть определены как основные данные. Последние включают такие составляющие, как бизнес-функции, бизнес-процессы и правила. Эти основные данные размещаются в так называемом архиве, содержащем конструктивные блоки для моделей, которые будут создаваться.

Затем создаются референтные модели, представляющие собой использование опыта и типологии организаций с высокой эффективностью моделирования. Каждая референтная модель состоит из модели бизнес-функций, модели организации и модели бизнес-процессов.

Эти модели описывают бизнес-функции в организации, иерархическую структуру организации и рабочее состояние действий, необходимых для выполнения бизнес-функции. Модели бизнес-функций и модели бизнес-процессов референтных моделей построены путем копирования из архива, в котором эти компоненты были определены. Далее создаются проектные модели, представляющие собой структуру определенной организации. Эти модели подобны референтным моделям, за исключением того, что они привязаны к одной конкретной организации. В проектных моделях можно определить варианты бизнес-функций, представляющих различные средства выполнения бизнес-функций. Для этих вариантов могут быть определены связи оптимизации, которые приводят оптимальные пути и какими нужно идти, переходя от одного средства работы в более оптимизированного средства.

Итак, можно сделать следующие выводы:

- 1) референтные модели состоят из ряда компонентов, доступных в архиве (как определено в бизнес-объекте «Основные данные»);
- 2) проектные модели часто основаны на референтных моделях;
- 3) проектные модели состоят из ряда компонентов, доступных в архиве (или недавно включенных или полученных с помощью референтных моделей);
- 4) референтные модели могут быть основаны на проектных моделях.

**Сети Петри как средство построения динамических моделей предприятия.** Метод моделирования «Сети Петри» был разработан Адамом Петри в 60-х годах XX в. С тех пор он стал одним из самых признанных стандартов моделирования процессов [3]. В динамическом моделировании предприятия метод сетей Петри служит средством описания потоков бизнес-процессов. Для осуществления такого описания используются четыре базовых конструктивных элемента (табл. 2).

Моделирование потока процесса через сети Петри базируется на нескольких принципах:

- деятельность начинается, когда есть хотя бы один символ работы во всех объединенных состояниях входа деятельности;
- деятельность потребляет один символ работы по каждому состоянию входа и производит один символ работы для каждого объединенного состояния выхода;
- действия управления имеют специальные возможности (табл. 3);
- они могут умножать один символ работы из состояния входа и помещать их в два или большее количество состояний выхода. Для этого строится конструкция AND-развилки;
- они могут маршрутизировать символ работы через процесс, размещая этот символ в один из объединенных состояний выхода, основанных на определенных состояниях. Этот способ реализуется через конструкции OR-развилки;
- они могут синхронизировать действия, выполненные в параллельных шагах. Для этого используется конструкция AND-сочетания.

Таблица 2

*Конструктивные элементы сетей Петри*




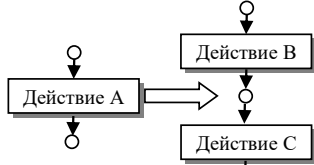
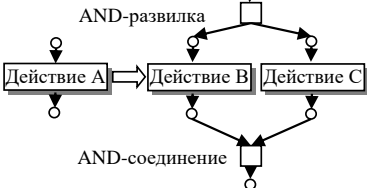
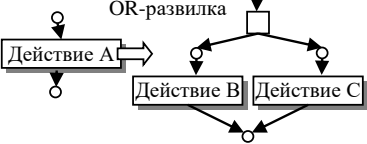
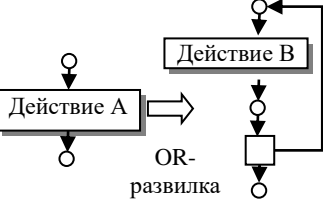
Конструктивный элемент	Характеристика
	<p>Состояния Состояния несут в себе символы работы, которые должны доработаться в деятельности, которая следует за символом состояния. Пример символа в состоянии — коммерческий заказ, который будет принят и подтвержден. Состояние может фиксировать определенный тип символа работы, описанный при определении состояния</p>
	<p>Действия управления Действия управления отвечают за перемещение символа работы в потоке процесса. Есть три возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• (X) ОК — развилка (направление 1 или 2);</li> <li>• AND — развилка (параллельный);</li> <li>• АКВ — соединение (синхронизация)</li> </ul>
	<p>Процессы Ручные или автоматизированные действия, которые превращают символ работы из состояния входа в другой символ работы в состоянии выхода</p>
	<p>Подпроцессы Подпроцессы позволяют структурировать процессы на более низком уровне</p>

Таблица 3

*Конструктивные блоки сетей Петри*

Конструктивный блок	Характеристика
	<p><b>Распределение действий</b> Деятельность разделена на два действия В и С, выполненные в указанном порядке</p>
	<p><b>Действия, выполненные параллельно</b> Деятельность разделена на два действия В и С. Последовательность, в которой выполняются В и С, не имеет никакого значения. Однако оба должны быть выполнены до завершения процесса</p>
	<p><b>Специализированные действия</b> Деятельность разделена на два альтернативных действия В или С. На основе определенной деятельности состояния В или С отобраны R-объединением — единым местом выхода в конце процесса</p>
	<p><b>Итерация действий</b> Выполнение действий допускает выполнение деятельности В один или большее количество раз. Число итераций урегулируется во время определения состояния</p>

На основе опыта моделирования процессов в потоках сетей Петри можно предложить несколько рекомендаций:

- каждый поток процесса начинается и заканчивается только одним состоянием;
- вход и выход потока должны иметь четкое и однозначное формирование;
- нужно использовать только стандартные блоки. Это гарантирует корректные сети Петри, которые могут быть реализованы системой управления потоками;
- процесс следует ограничивать пятью-десятью шагами. Если требуется большее количество шагов, строится подпроцесс.

Данные рекомендации также основываются на свойствах сети Петри [4]:

- ограниченность сети Петри — свойство сети, число меток которой в любой позиции сети не может превысить некоторого значения  $K$ ;
- безопасность сети Петри — это частный случай ограниченности,  $K = 1$ ;
- сохраняемость сети Петри — это постоянство загрузки ресурсов, когда  $\sum A_i N_i$  постоянна, где  $N_i$  — число маркеров в  $i$ -той позиции,  $A_i$  — весовой коэффициент;
- достижимость сети Петри — возможность перехода сети из одного заданного состояния (характеризуемого распределением меток) в другое;
- активность (живость) сети Петри — возможность срабатывания любого перехода при функционировании моделируемого объекта.

В основе исследования перечисленных свойств лежит анализ достижимости. Методы анализа свойств сетей Петри основаны на использовании графов достижимых (покрывающих) маркировок, решении уравнения состояний сети и вычислении линейных инвариантов позиций и переходов. Применяются также вспомогательные методы редукции, позволяющие уменьшить размер сети Петри с сохранением ее свойств, и декомпозиции, разделяющие исходную сеть на подсети [4].

Сети Петри моделируют широкий класс систем, но для некоторых распространенных специальных классов систем удобно применять сети Петри не общего вида, а некоторые их подклассы или более адекватные рассматриваемым системам [5]:

- временную сеть — переходы обладают весом, определяющим продолжительность срабатывания (задержку);
- стохастическую сеть — задержки являются случайными величинами;
- функциональную сеть — задержки определяются как функции некоторых аргументов, например, количества фишек в каких-либо позициях, состояния некоторых переходов;
- цветную сеть — метки могут быть различных типов, обозначаемых цветами, тип метки может быть использован как аргумент в функциональных сетях;
- ингибиторную сеть — возможны ингибиторные дуги, запрещающие срабатывание перехода, если во входной позиции, связанной с переходом ингибиторной дугой, находится метка;
- иерархическую сеть — содержит не мгновенные переходы, в которые вложены другие, возможно, также иерархические, сети. Срабатывание такого перехода характеризует выполнение полного жизненного цикла вложенной сети.

При построении сетей Петри достаточно часто используют композиционный подход, который предполагает возможность построения более сложных сетей из менее сложных составляющих.

**Заключение.** Теория сетей Петри развивается по двум направлениям: формальному и прикладному. Формальная теория занимается разработкой средств, методов и понятий, необходимых для применения сетей Петри. Прикладная теория связана с применением сетей Петри к моделированию систем и их анализу [5]. Анализ помогает получить информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы. Эта информация нужна для оценки моделируемой системы и выработки предложений по её усовершенствованию, что позволяет гибко использовать данный математический аппарат для отображения и анализа причинно-следственных связей в разнообразных процессах, происходящих в дискретных динамических системах различной природы. Поведение таких систем описывается выполнением событийной модели, а с помощью сети Петри моделируется структура и динамика ее функционирования.

Таким образом, сети Петри являются достаточно мощным инструментом для динамического моделирования предприятия как сложной производственной системы.

#### Список использованной литературы:

1. Советов Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — М. : Высшая школа, 2005. — 344 с.
2. Лисецкий Ю. М. Інформаційні системи і технології у менеджменті : монографія / Ю. М. Лисецкий. — К. : Логос, 2014. — 417 с.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. — М. : Мир, 1984. — 264 с.
4. Сети Петри — математический аппарат для моделирования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://bourabai.kz/cm/petri\\_nets.htm](http://bourabai.kz/cm/petri_nets.htm).
5. Мальков М. В. Сети Петри и моделирование / М. В. Мальков, С. Н. Мальгина // Труды Кольского научного центра РАН. — 2010. — № 3. — С. 35–40.

#### DYNAMIC MODELING OF ENTERPRISE ON THE BASIS OF PETRI NETS

The paper considered the problem of modeling the enterprise as a complex production system. It has been demonstrated that imitational (dynamic) modeling is the most adequate method for building business models that describe enterprise functioning. Imitational modeling considers model as a combination of rules defining the state into which the modeled object will get from certain preceding state. The process of dynamic enterprise modeling can be described as a sequence of the following actions: the enterprise is brought to hierarchical model formed by elementary functional modules (business functions) which are combined into informational streams (business processes) and by enterprise organizational structure (business organization). The aggregate of business functions models, business process models



and business organization model is the imitational business model of the enterprise. The Petri nets have been considered as a means to build and analyze system dynamic models. The analysis allows eliciting information on structure and dynamic behavior of the modeled system. This information is required to assess the modeled system and generate suggestions on its improvement. This allows flexible usage of the above mathematical apparatus to reflect and analyze cause-and-effect relations in different processes in discrete dynamic systems. Behavior of such systems is described by the execution of the event model and Petri nets are used to model structure and dynamics of its functioning. There have been described methods and elements of enterprise dynamic modeling based on Petri nets. Types and essential features of Petri nets are described. There has been given recommendation for process modeling in the Petri nets streams. There has been demonstrated that efficiency of Petri nets is significantly high.

**Key words:** *model, enterprise, business processes, business functions, classifications, rules, roles, Petri nets, structural component, structural block.*

Отримано: 14.05.2018

УДК 519.6

**О. М. Литвин**, д-р. фіз.-мат. наук, професор,

**М. В. Артюх**

Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

## **ТЕСТУВАННЯ МЕТОДУ ПОБУДОВИ ВИРОБНИЧИХ ФУНКЦІЙ ЗІ ЗМІННИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ (ВФЗКЕ)**

В статті розглядається класична виробнича функція Кобба-Дугласа, яка є виробничою функцією зі сталими коефіцієнтами та використовується для дослідження економічних систем будь-якого масштабу. Наведено формулу класичної виробничої функції Кобба-Дугласа та дано пояснення, що її параметри  $\alpha$ ,  $\beta$  є частинними коефіцієнтами еластичності. Але при більш детальному дослідженні виявилось, що можливо побудувати виробничу функцію зі змінними коефіцієнтами еластичності. Така виробнича функція зі змінними коефіцієнтами дозволяє отримати краще наближені дані. Наведено приклади побудови виробничої функції зі змінними коефіцієнтами та виробничої функції зі сталими коефіцієнтами, в яких порівнюється якість наближення виробничої функції Кобба-Дугласа та виробничої функції зі змінними коефіцієнтами. Розглянуто приклад виробничої функції зі змінними коефіцієнтами для дослідження економіки сільського господарства України. При проведенні досліджень, автори виявили, що очевидним є наступне твердження: середньоквадратичне відхилення  $\sigma$ , знайдене для наближення експериментальних даних за допомогою функцій зі