МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

О.А. Цуканова

МЕТОДОЛОГИЯ И ИНСТРУМЕНТАРИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ: ПРАКТИЧЕСКИЙ КУРС

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 38.04.05 Бизнес-информатика в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования магистратуры

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург
2017

Цуканова О. А. Методология и инструментарий моделирования бизнес-процессов: практический курс. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 56 с.

Рецензенты: Макарченко М.А., д.э.н., профессор, зав. кафедрой промышленного менеджмента и трансфера технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики

Кроливецкий Э.Н., д.э.н., профессор, профессор кафедры управления экономическими и социальными процессами в кино- и телеиндустрии Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения

В настоящем учебном пособии практические работы направлены на получение студентами навыков и практического опыта в области моделирования бизнес-процессов в организации. Предложены практические задачи как для концептуального, так и математического моделирования.

Учебное пособие разработано в соответствии с программой дисциплины «Методология и инструментарий моделирования бизнес-процессов» и предназначено для студентов всех форм обучения по направлению 38.03.05 - «Бизнес-информатика».

Рекомендовано к печати на заседании Ученого совета факультета технологического менеджмента и инноваций 18.04.2017 г., протокол № 9.

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2017
© О. А. Цуканова, 2017

Содержание

Введение

Настоящее учебное пособие включает в себя практические работы по концептуальному и математическому моделированию бизнес-процессов в экономических системах.

Преподаватель и студенты имеют возможность модифицировать исходные данные для выполнения практических работ и решения задач. Исходные данные для концептуального и математического моделирования могут быть получены в ходе прохождения студентами практики, а сформированные в ходе решения практических работ результаты использоваться в организационно-правовых структурах для решения задач оптимизации бизнес-процессов.

Выполнение практических работ предполагает закрепление теоретических знаний и получение практических навыков по взаимосвязанным темам рассматриваемой дисциплины. При этом студент должен показать навыки обобщения материала в форме выводов и уметь доказать значимость результатов.

Цель выполнения практических работ состоит в получении практических умений и навыков в области: использования различных методологий описания бизнес-процессов организации; определения необходимых параметров, дающих набор знаний по бизнес-процессам и позволяющим его моделировать с использованием современных инструментальных средств; построения сети бизнес-процессов, проведения их декомпозиции, реализации методологии функционального моделирования бизнес-процессов через конкретную технологию; использования методов и инструментов вероятностно-статистических методов моделирования при решении экономических задач на предприятии; проведения структурного анализ экономического процесса; использования современных прикладных программ для решения экономико-математических задач.

Отдельные практические работы, задачи, результаты их решения и выводы могут использоваться при изучении таких дисциплин, как «Анализ и управление бизнес-процессами на предприятии», «Система сбалансированных показателей в управлении предприятием», а также в научно-исследовательской работе студента.

Практическая работа № 1 «Обследование бизнес-процессов в организации»

Цель работы. Провести предварительное изучение бизнес-процессов в организации с целью дельнейшего анализа и построения функциональных, динамических, математических и других моделей. Для этого необходимо:

1) описать функциональную область моделирования (выбрать самостоятельно);
2) определить входы и выходы процесса (поставщиков и потребителей), управляющие воздействия (внутренние и внешние) и необходимые виды ресурсов;
3) сконструировать схему алгоритма бизнес-процесса;
4) составить таблицу с информацией о субпроцессах и их содержании.

Методические указания. Бизнес-процесс представляет собой систему последовательных, целенаправленных и регламентированных видов деятельности, в которой посредством управляющего воздействия и с помощью ресурсов входы процесса преобразуются в выходы, результаты процесса, представляющие ценность для потребителей.

В общем случае модель бизнес-процесса должна давать ответы на следующие вопросы, которые позволят провести всесторонний анализ, взглянуть со всех точек зрения на бизнес-процесс, детализировать его:

- какие процедуры (функции, работы) необходимо выполнить для получения заданного конечного результата;
- в какой последовательности выполняются эти процедуры;
- какие механизмы контроля и управления существуют в рамках рассматриваемого бизнес-процесса;
- кто выполняет процедуры процесса;
- какие входящие документы/информацию использует каждая процедура процесса;
- какие исходящие документы/информацию генерирует процедура процесса;
- какие ресурсы необходимы для выполнения каждой процедуры процесса;
- какая документация/условия регламентирует выполнение процедуры;

- какие параметры характеризуют выполнение процедур и процесса в целом.

Пример табличного описания бизнес-процесса

Процесс — закупки. *Владелец* — заместитель коммерческого директора. *Цель процесса* — обеспечение потребности производства материалами и комплектующими. *Краткое описание процесса* — организация обеспечения ТМЦ (товарно-материальных ценностей), хранение и передача их в производство, выбор и оценки поставщиков.

Процесс – реализация радиационного монитора (РМ). *Владелец* – Заместитель директора по производству. *Цель процесса* – получение коммерческого результата и удовлетворение потребностей Заказчика. *Краткое описание процесса* – получение заказа на изготовление радиационного монитора, изготовление комплектующих, сбор и тестирование прибора, монтаж и пуско-наладка радиационного монитора на объекте [7].

Таблица 1.1

Пример табличного описания бизнес-процесса

№	**Субпроцесс**	**Содержание**	**Владелец**	**Участники**
1.	Оформление договора и разработка спецификации	Получение запроса на приобретение РПМ, уточнение требований к РПМ, анализ требований, составление проекта договора, согласование договора, подписание договора	Заместитель директора по производству	группа разработок, группа производства, группа бухгалтерского учета
2.	Закупка комплектующих для изготовления пешеходного радиационного монитора	Сбор данных о потребностях подразделений в комплектующих, поиск поставщиков, составление заявок, заключение договоров, доставка комплектующих, регистрация на складе, передача в группы	ГМТС	группа материально-технического снабжения
	…….			

Практическая работа № 2 «Моделирование в нотации IDEF0»

Цель работы. Построить IDEF0 модель бизнес-процессов в организации.

Методические указания. Моделирование деловых процессов, как правило, выполняется с помощью case-средств. К таким средствам относятся BPwin, Silverrun, Oracle Designer, Ramus, Rational Rose и др.

IDEF0 – методология функционального моделирования. Используется для создания функциональной модели, отображающей структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, связывающих эти функции.

Процесс моделирования системы в *IDEF0* начинается с создания *контекстной диаграммы* — диаграммы наиболее абстрактного уровня описания системы в целом, содержащей определение субъекта моделирования, цели и точки зрения на модель. Каждая последующая диаграмма является более подробным описанием (декомпозицией) одной из работ на вышестоящей диаграмме.

IDEF0-модель предполагает наличие четко сформулированной цели, единственного субъекта моделирования и одной точки зрения. Под точкой зрения понимается перспектива, с которой наблюдалась система при построении модели. Хотя при построении модели учитываются мнения различных людей, все они должны придерживаться единой точки зрения на модель. Точка зрения должна соответствовать цели и границам моделирования. Как правило, выбирается точка зрения человека, ответственного за моделируемую работу в целом.

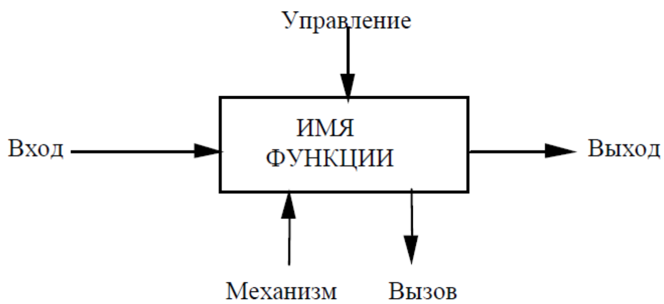
Обычно сначала строится модель существующей организации работы — *AS-IS (как есть)*. Анализ функциональной модели позволяет понять, где находятся наиболее слабые места, в чем будут состоять преимущества новых бизнес-процессов и насколько глубоким изменениям подвергнется существующая структура организации бизнеса. Детализация бизнес-процессов позволяет выявить недостатки организации даже там, где функциональность на первый взгляд кажется очевидной. Найденные в модели *AS-IS* недостатки можно исправить при создании модели *TO-BE (как будет)* — модели новой организации бизнес-процессов.

Набор структурных компонентов языка, их характеристики и правила, определяющие связи между компонентами, представляют собой синтаксис языка. Компоненты синтаксиса *IDEF0 – блоки, стрелки, диаграммы и правила.*

Блоки представляют функции, определяемые как деятельность, процесс, операция, действие или преобразование. Блок описывает функцию. Внутри каждого блока помещается его имя и номер. Имя должно быть активным глаголом или глагольным оборотом, описывающим функцию. Номер блока размещается в правом нижнем углу. Номера блоков используются для их идентификации на диаграмме и в соответствующем тексте.

Стрелки представляют данные или материальные объекты, связанные с функциями. Стрелки, представляя множества объектов, в зависимости от того, в какую грань блока (прямоугольника работы) они входят или из какой грани выходят, делятся на пять видов:

- *входа* (входят в левую грань работы) – изображают данные или объекты, изменяемые в ходе выполнения работы;
- *управления* (входят в верхнюю грань работы) – изображают правила и ограничения, согласно которым выполняется работа;
- *выхода* (выходят из правой грани работы) – изображают данные или объекты, появляющиеся в результате выполнения работы;
- *механизма* (входят в нижнюю грань работы) – изображают ресурсы, необходимые для выполнения работы, но не изменяющиеся в процессе работы (например, оборудование, людские ресурсы и т.д.);
- *вызова* (выходят из нижней грани работы) – изображают связи между разными диаграммами или моделями, указывая на некоторую диаграмму, где данная работа рассмотрена более подробно.



Стрелки на *контекстной диаграмме* служат для описания взаимодействия системы с окружающим миром. Они могут начинаться у границы диаграммы и заканчиваться у работы, или наоборот. Такие *стрелки* называются граничными.

Нумерация работ и диаграмм. Все работы модели нумеруются. Номер состоит из префикса и числа. Может быть использован префикс любой длины, но обычно используют префикс А. Контекстная (корневая) работа дерева имеет номер А0. Работы і декомпозиции А0имеют номера А1, А2, А3 и т. д. Работы декомпозиции нижнего уровня имеют номер родительской работы и очередной порядковый номер, например работы декомпозиции А3 будут иметь номера А31, А32, АЗЗ, А34 и т. д. Работы образуют иерархию, где каждая работа может иметь одну родительскую и несколько дочерних работ, образуя дерево. Такое дерево называют деревом узлов, а вышеописанную нумерацию — нумерацией по узлам. Диаграммы IDEF0 имеют двойную нумерацию. Во-первых, диаграммы имеют номера по узлу. Контекстная диаграмма всегда имеет номер А-0, декомпозиция контекстной диаграммы — номер А0, остальные диаграммы декомпозиции — номера по соответствующему узлу (например, А1, А2, А21, А213 и т. д.).

Туннель – круглые скобки в начале и/или окончании стрелки. Туннельные стрелки означают, что данные, выраженные этими стрелками, не рассматриваются на родительской диаграмме и/или на дочерней диаграмме.

Стрелка, помещенная в туннель там, где она присоединяется к блоку, означает, что данные, выраженные этой стрелкой, не обязательны на следующем уровне декомпозиции. Стрелка, помещаемая в туннель на свободном конце означает, что выраженные ею данные отсутствуют на родительской диаграмме. Более детально эта ситуация поясняется рис. 2.1 [3, 6, 7, 8].

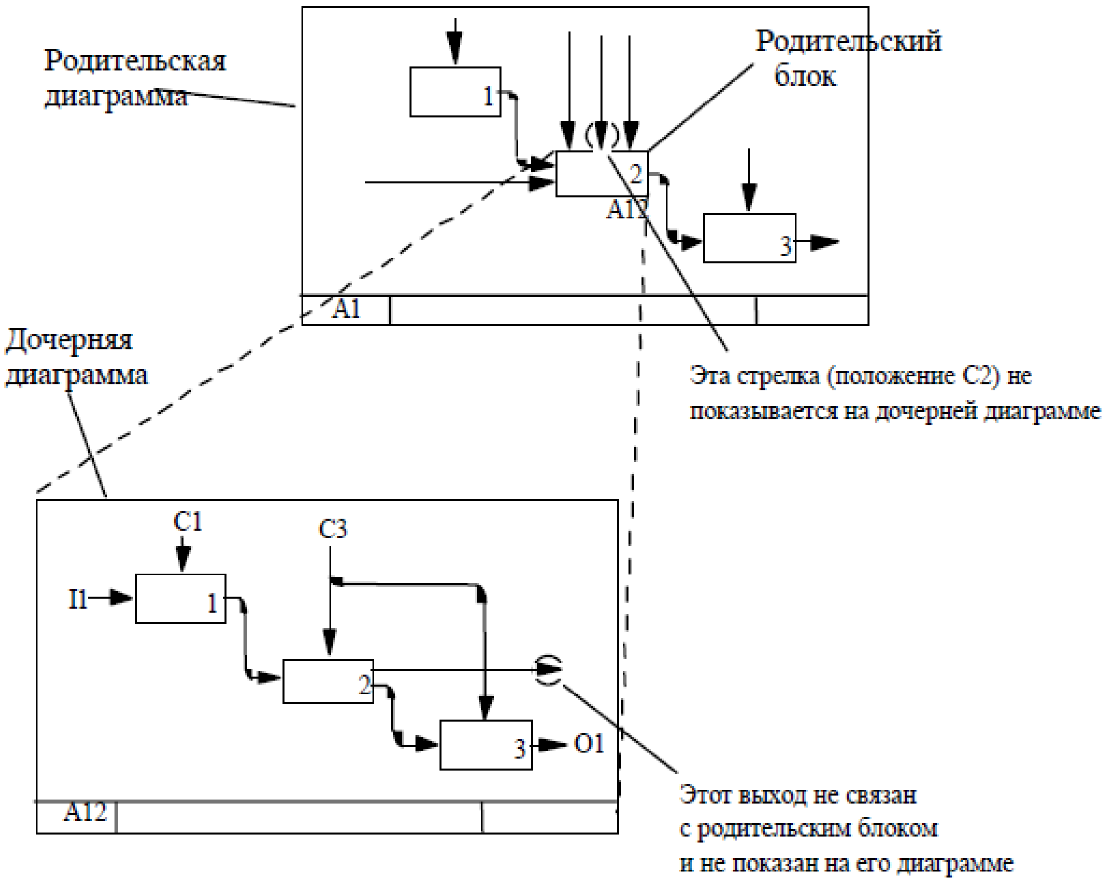


Рис. 2.1. Пример использования туннельных стрелок на диаграммах

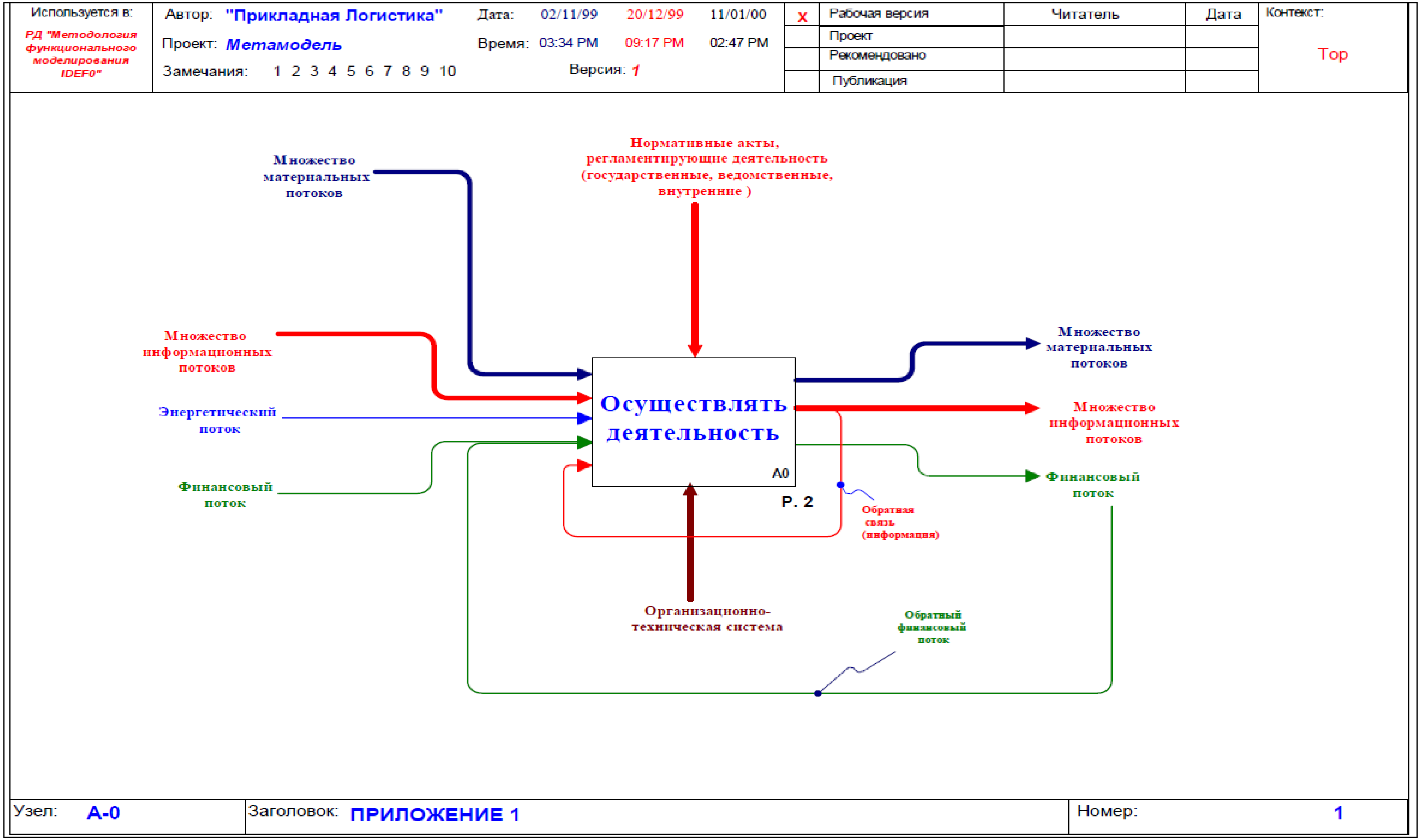


Рис. 2.2. Пример контекстной диаграммы верхнего уровня

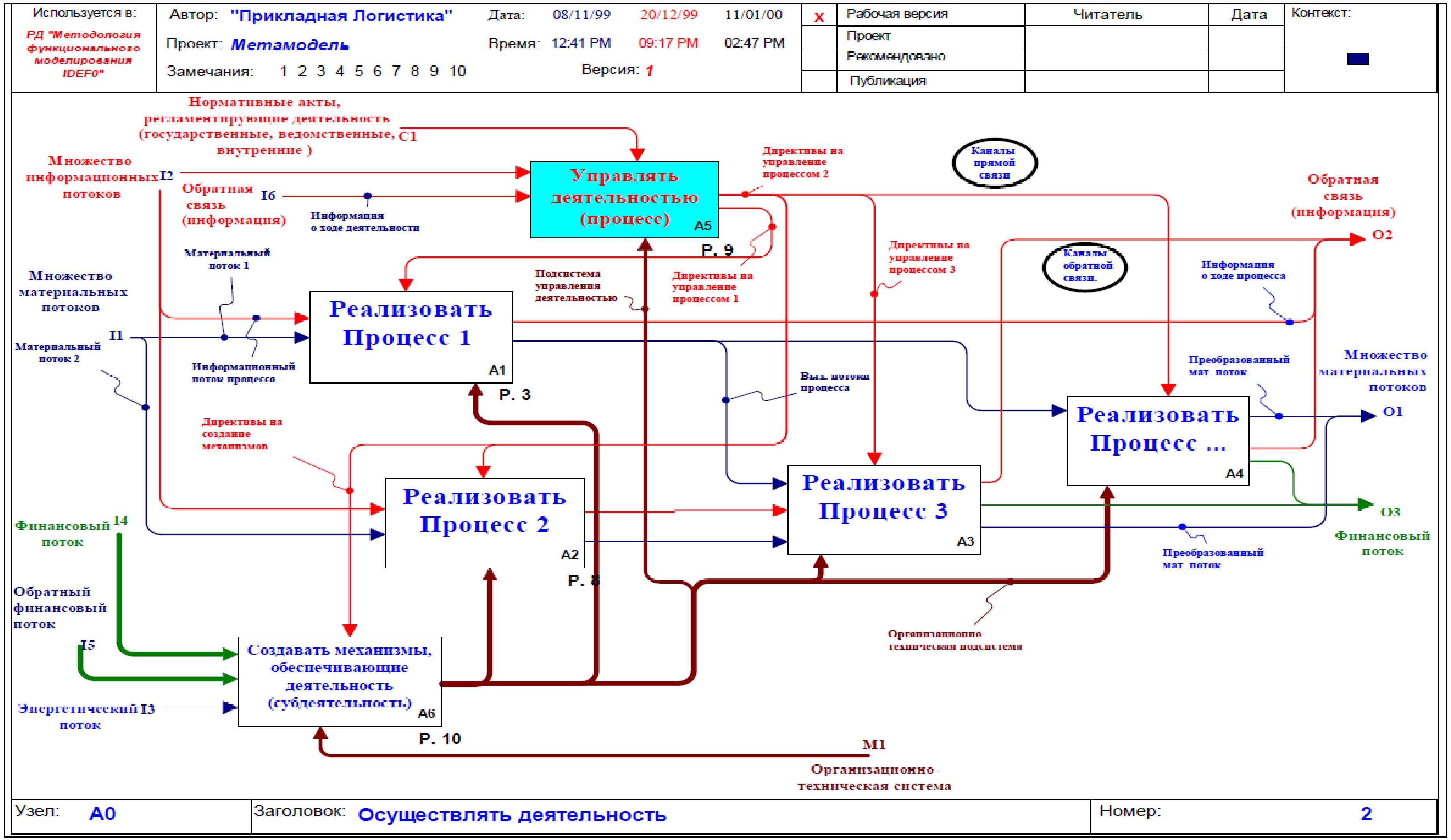


Рис. 2.3. Пример дочерней диаграммы

Практическая работа № 3 «Моделирование диаграммы потоков данных (DFD)»

Цель работы. Построить диаграмму потоков данных (DFD) в подразделении предприятия.

Методические указания. Целью методики является построение модели рассматриваемой системы в виде диаграммы потоков данных *(Data Flow Diagram – DFD)*, обеспечивающей правильное описание выходов (отклика системы в вида данных) при заданном воздействии на вход системы (подаче сигналов через внешние интерфейсы). Диаграммы потоков данных являются основным средством моделирования функциональных требований к проектируемой системе.

Для изображения DFD традиционно используются две различные нотации: Йодана (Yourdon) и Гейна-Сарсона (Gane-Sarson), представленные на рис. 3.1.

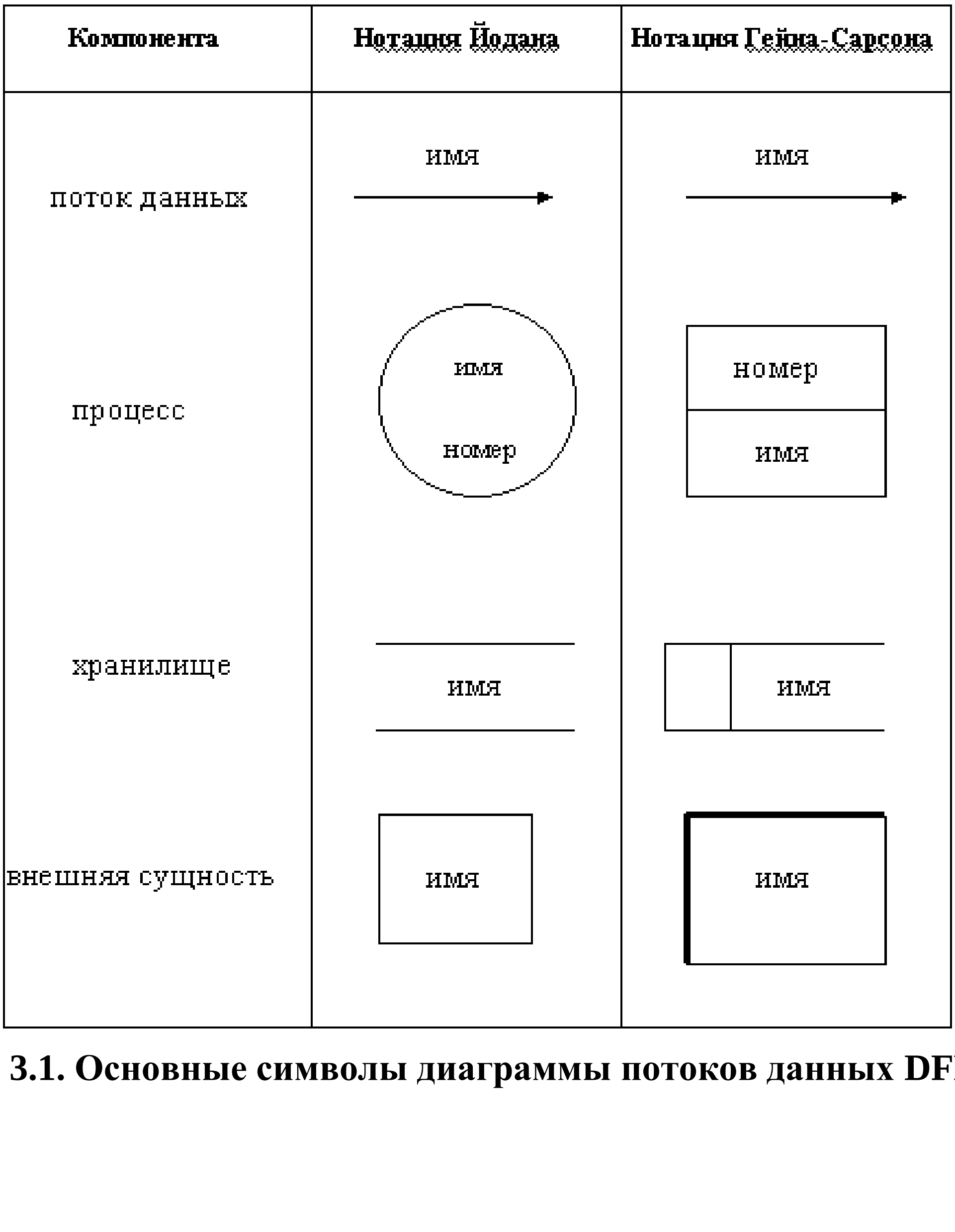


Рис. 3.1. Основные символы диаграммы потоков данных DFD

Потоки данных являются механизмами, использующимися для моделирования передачи информации (или физических компонент) из одной части системы в другую.

Назначение *процесса (работы)* состоит в продуцировании выходных потоков из входных в соответствии с действием, задаваемым именем процесса. Имя процесса должно содержать глагол в неопределенной форме с последующим дополнением (например, «вычислить максимальную высоту»).

Хранилище (накопитель) данных позволяет на определенных участках определять данные, которые будут сохраняться в памяти между процессами. Фактически хранилище представляет «срезы» потоков данных во времени.

Внешняя сущность представляет собой материальный объект вне контекста системы, являющейся источником или приемником системных данных. Ее имя должно содержать существительное.

Декомпозиция DFD-диаграммы осуществляется на основе процессов: каждый процесс может раскрываться с помощью DFD нижнего уровня. Важную специфическую роль в модели играет специальный вид DFD - *контекстная диаграмма*, моделирующая систему наиболее общим образом. Каждый проект должен иметь ровно одну контекстную диаграмму, при этом нет необходимости в нумерации единственного ее процесса [3, 5, 6, 7, 8].

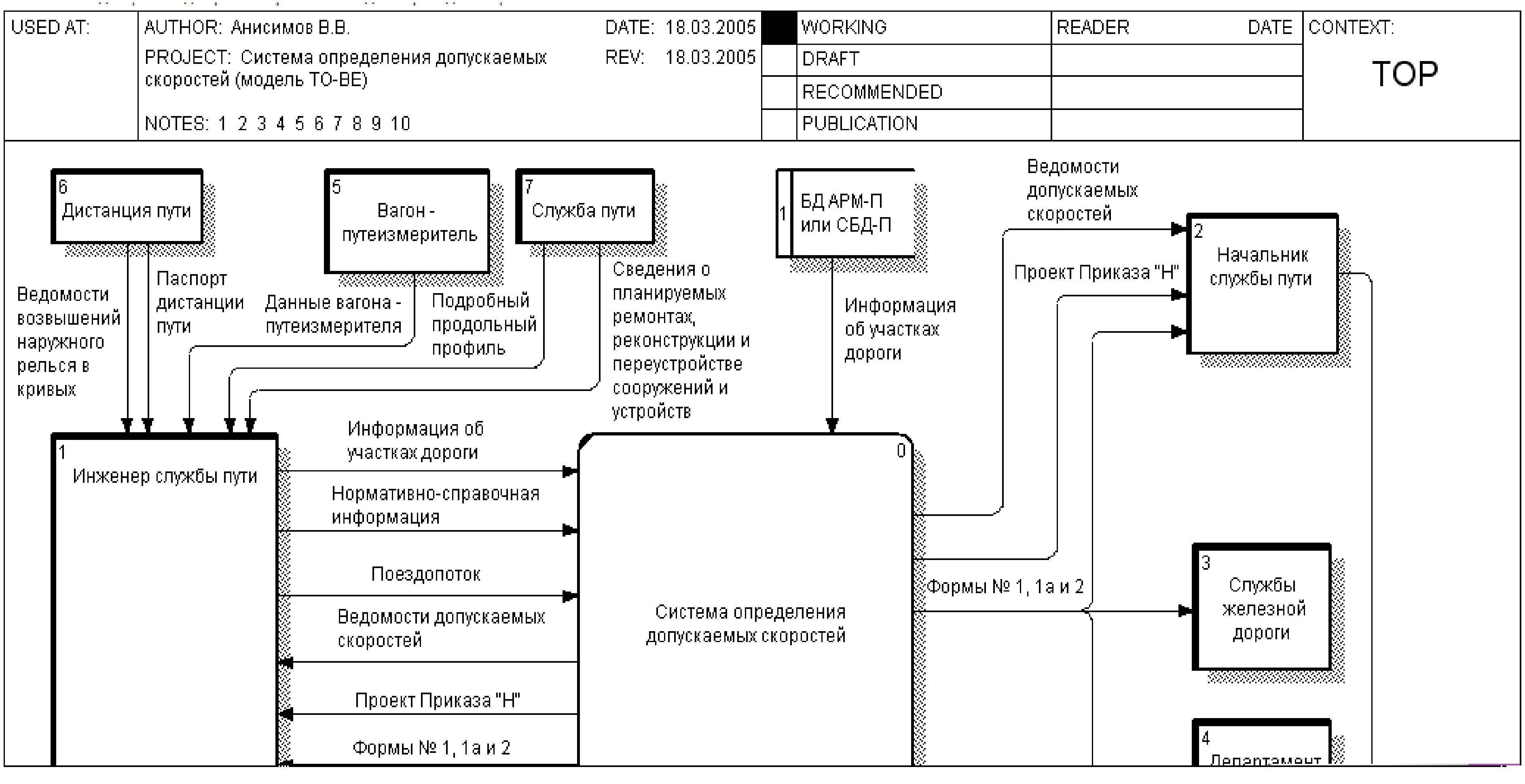


Рис. 3.2. Пример контекстной диаграммы DFD (в средстве моделирования BPwin)

Практическая работа № 4 «Моделирование в нотации IDEF3»

Цель работы. Построить IDEF3 модель бизнес-процессов в организации.

Методические указания.

Стандарт IDEF3 – это методология описания процессов, рассматривающая последовательность выполнения и причинно-следственные связи между ситуациями и событиями для структурного представления знаний о системе. При помощи IDEF3 описывают логику выполнения работ, очередность их запуска и завершения, т.е. IDEF3 предоставляет инструмент моделирования сценариев действий сотрудников организации, отделов, цехов и т.п., например, порядок обработки заказа или события, на которые необходимо реагировать за конечное время, выполнение действий по производству товара и т.д.

Основные элементы IDEF3-диаграмм

Основные элементы IDEF3-диаграмм представлены на рис. 4.2.

Функциональный элемент (UOB). Описание процесса представляет всевозможные ситуации (процессы, функции, действия, акты, события, сценарии, процедуры, операции или решения), которые могут происходить в моделируемой системе в логических и временных отношениях. Каждый процесс представлен полем, отображающим название процесса. Номер идентификатора процесса назначается последовательно. В правом нижнем углу UOB-элемента располагается ссылка и используется для указания ссылок либо на элементы из функциональной модели IDEF0, либо для указания на отделы или конкретных исполнителей, которые будут выполнять указанную работу.

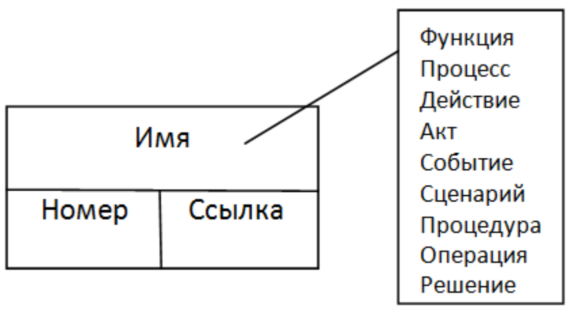


Рис. 4.1. Синтаксис UOB-элемента

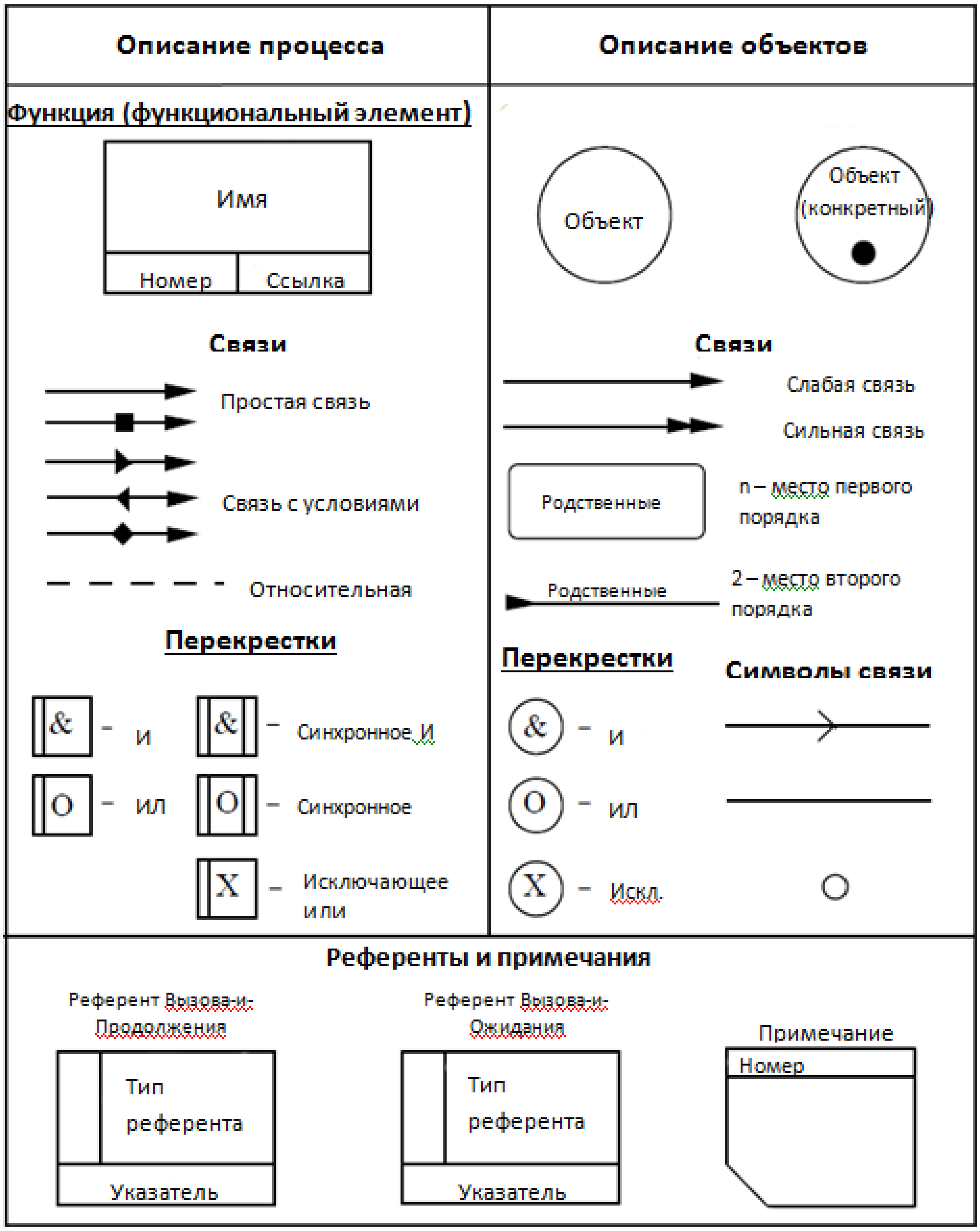


Рис. 4.2. Элементы IDEF3-диаграмм

Элемент связи необходим для организации отношений между элементами диаграммы и описания динамики происходящих процессов. Связи используются прежде всего для обозначения отношений между функциональными элементами UOB, отображения временной последовательности выполнения сценариев в диаграммах описания процесса. Данные элементы используются в основном для обозначения существенных связей между UOB.

Связи между функциональными блоками могут быть: временные, логические, причинно-следственные, природные и обычные. В подавляющем большинстве случаев используются связи, отражающие простое временное отношение между блоками. Существует два основных типы связей, используемых в IDEF3 схемах: связи приоритета (старшинства) и относительные (прерывистые) связи. Символы, которые представляют каждый вид, показаны на рис. 2.9.

Связи простой очередности демонстрируют временной приоритет отношений между функциональными блоками UOB. Они являются наиболее широко используемыми связями и обозначаются сплошной стрелкой, а иногда дополнительным маркером, прикрепленным к стволу стрелки. Очередность подключения UOB блоков с простой очередностью показана на рис. 4.3.

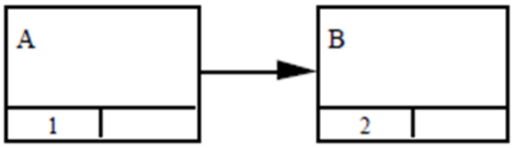


Рис. 4.3. Порядок подключения UOB блоков с простой очередностью

Относительные (прерывистые) связи не несут никакой определенной семантики. По этой причине их часто называют пользовательскими связями. Этот тип ссылок подчеркивает существование (возможно, ограничивающие) отношения между двумя UOBs. Например, связь на рис. 2.11 может означать ограничение между блоками «Подписать расписание» «Получить расписание», которое свидетельствует о том, что нельзя утверждать собственное расписание. Точный характер отношения указывают в документе Разработки.

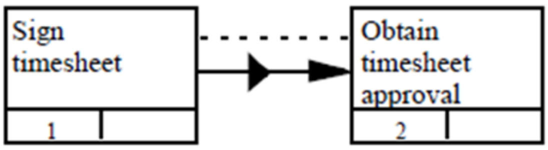


Рис. 4.4. Пример относительной связи между UOB блоками

Перекрестки используются для отображения логики отношений между множеством событий и временной синхронизации активизации элементов IDEF3-диаграмм. Методология IDEF3 использует пять логических типов для моделирования возможных последствий действий в сценарии.

Таблица 4.1

Логические типы

Обозначение	Наименование	Смысл в случае слияния стрелок (*Fan-in Junction)*	Смысл в случае разветвления стрелок (*Fan-out Junction)*
&	*Asynchronus AND*	Все предшествующие процесс должны быть завершены	Все следующие процессы должны быть запущены
O	*Asynchronus OR*	Один или несколько предшествующих процессов должны быть завершены	Один или несколько следующих процессов должны быть запущены
X	*XOR (Exclusive OR)*	Только один предшествующий процесс завершен	Только один следующий процесс запускается
&	*Synchronus AND*	Все предшествующие процессы завершены одновременно	Все следующие процессы запускаются одновременно
O	*Synchronus OR*	Один или несколько предшествующих процессов завершаются одновременно	Один или несколько следующих процессов запускаются одновременно

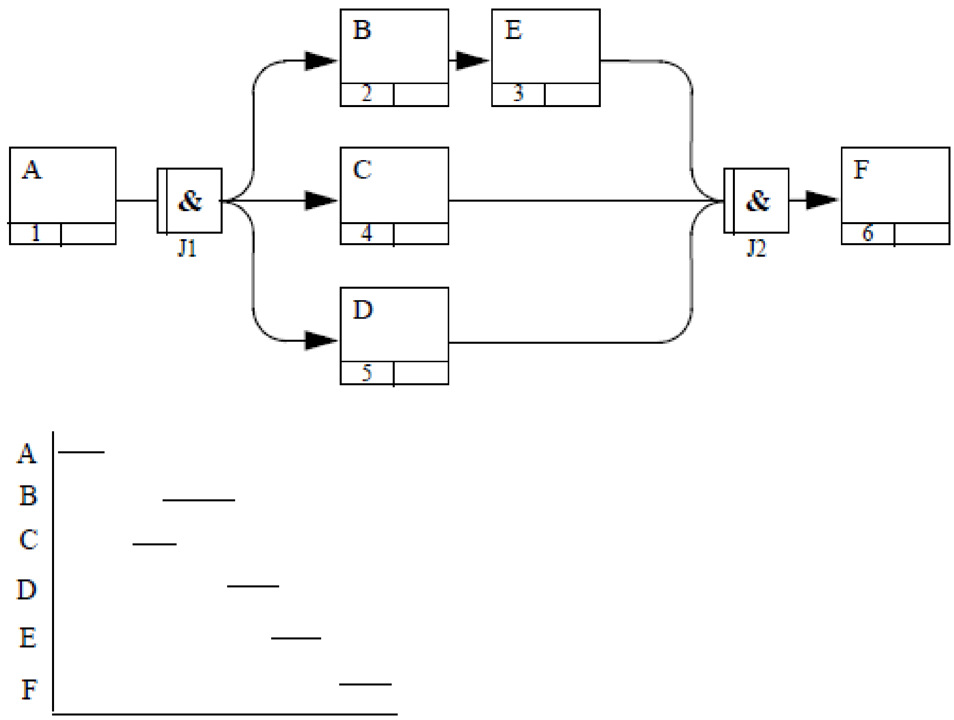


Рис. 4.5. Пример использования перекрестков (асинхронный И)

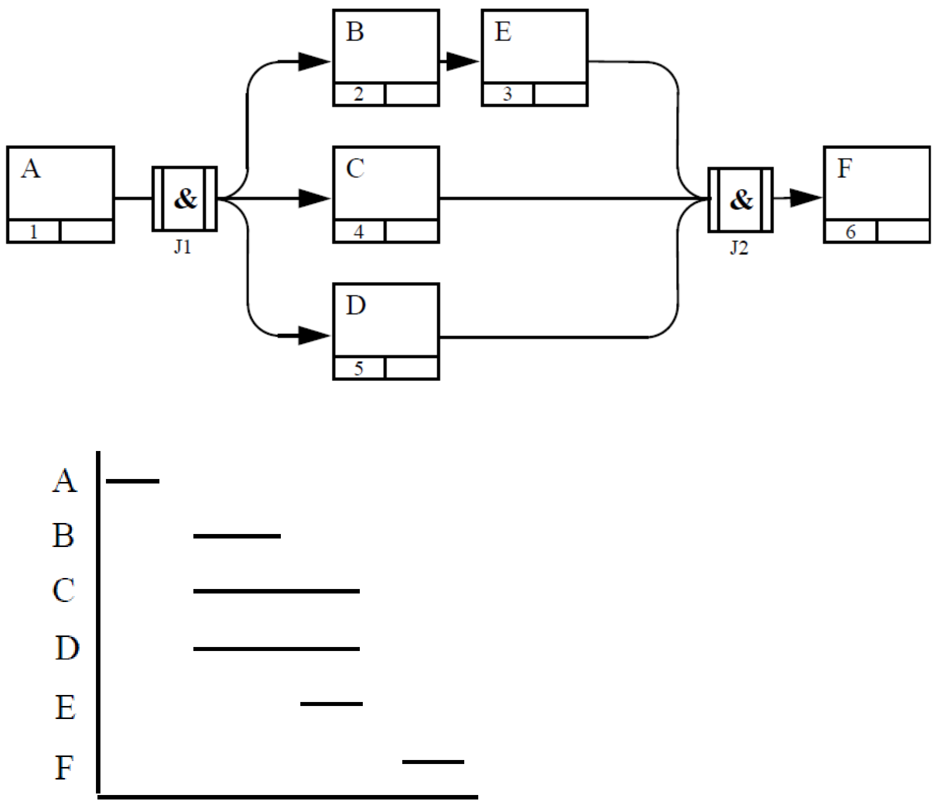


Рис. 4.6. Пример использования перекрестков (синхронный И)

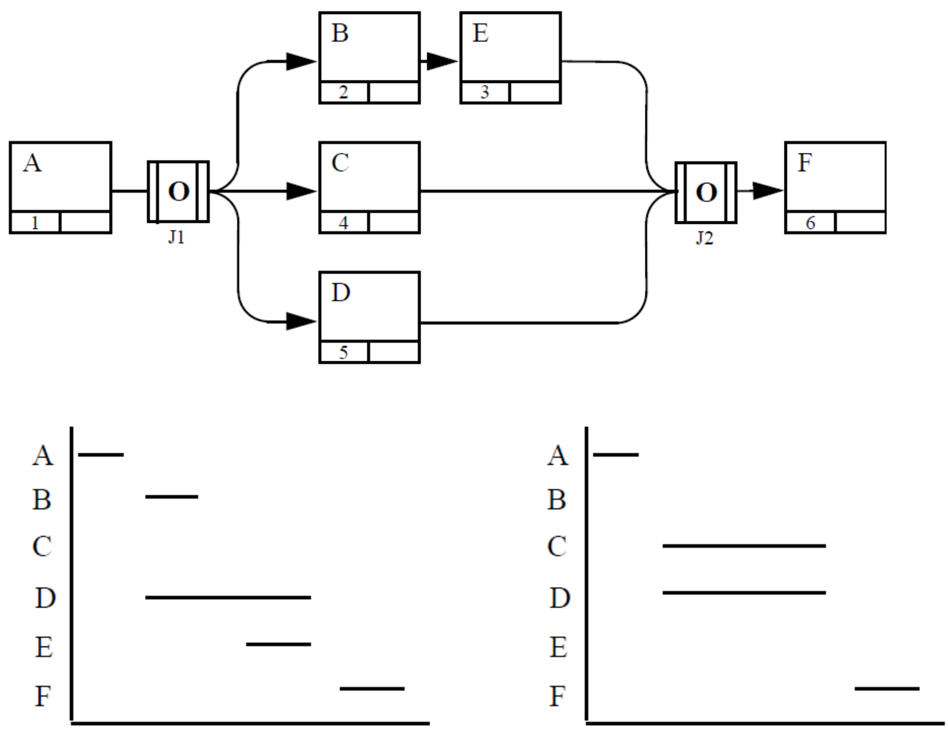


Рис. 4.7. Пример использования перекрестков (синхронный ИЛИ)

Референты расширяют границы понимания диаграммы и упрощают конструкцию описания. Референты используются для того, чтобы уточнить понимание процесса и добавить дополнительный смысл в систему.

Типы референтов приведены в таблице 2.2.

Таблица 4.2

Типы референтов

Тип референта	Обозначение референта
UOB	Имя функционального элемента UOB (№ UOB)
SCENARIO	Название сценария (№ Scenario)
TS (Transition Schematic)	Название диаграммы перехода состояний (№ диаграммы перехода)
GO-TO	Имя функционального элемента UOB (№ UOB, № сценария или декомпозиции, в которой находится элемент)

Графические символы для двух основных стилей референтов отображены на рис. 2.13. Каждый тип референта может быть использован либо в схеме процесса, либо на объекте схемы. Чаще всего используется референт *Вызова-и-Продолжения*, который возникает в процессе исполнения блока и нужен до того, как блок, его вызвавший, завершится.

Референт *Вызов-и-Ожидание* должен начаться и завершиться до того, как блок, его вызвавший, завершится.

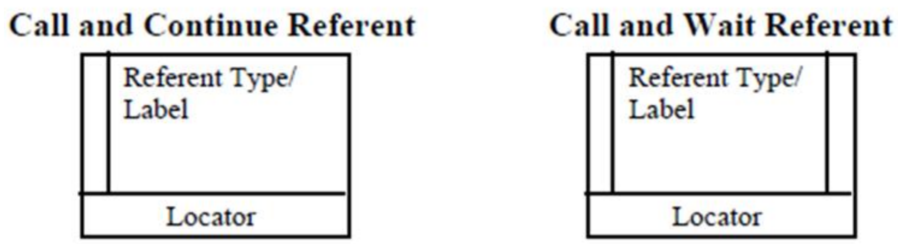


Рис. 4.8. Референты Вызова-и-Продолжения и Вызова-и-Ожидания

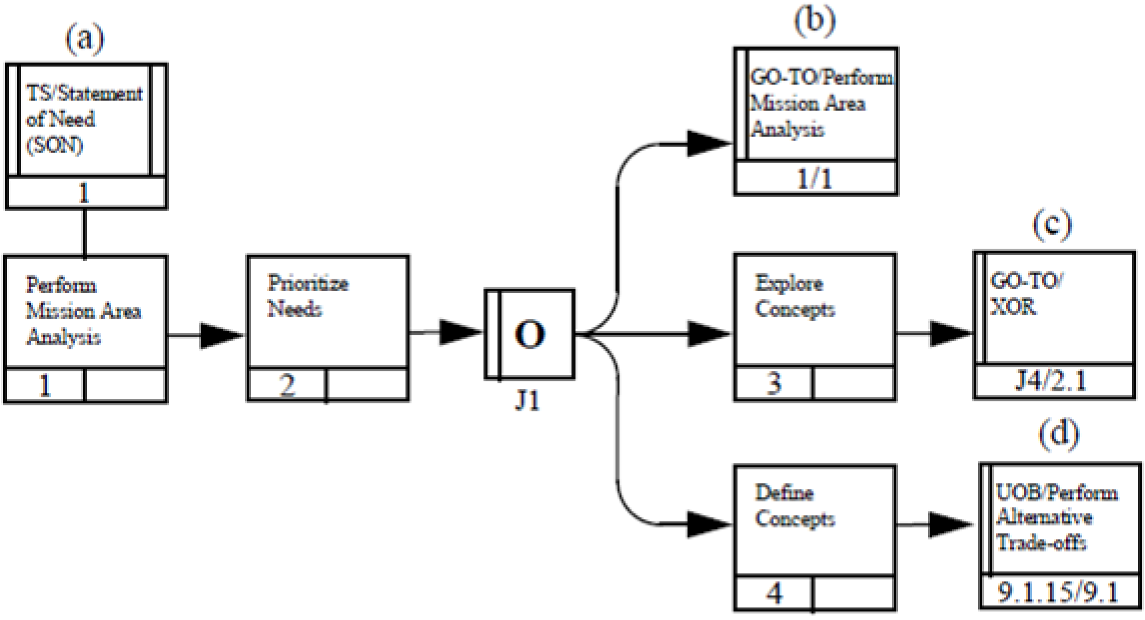


Рис. 4.9. Пример использования элемента «референт»

Элемент «примечание». Этот элемент используется для обеспечения дополнительной информации в процессе моделирования, присоединения к диаграммам иллюстраций, текста, комментариев и т.д. Они предоставляют возможность выразить идеи или концепции вместо использования относительных связей. Этот элемент может быть приложен к функциональному элементу, перекрестку, связи, объекту или референту и предназначен:

- для идентификации специфических объектов или отношений, связанных с функциональным элементом *UOB* связью или переходом;
- присоединения примеров, объектов, например экранных форм и т.п.;
- отображения специальных условий, уточнений соединения или ограничений, связанных с элементами диаграмм.

Декомпозиция описания процесса

Методология IDEF3 дает возможность представлять процесс в виде иерархически организованной совокупности диаграмм. Диаграммы состоят из нескольких элементов описания процесса IDEF3, причем каждый функциональный элемент UOB потенциально может быть детализирован на другой диаграмме. Такое разделение сложных комплексных процессов на их структурные части называется *декомпозицией* [7, 8, 10].

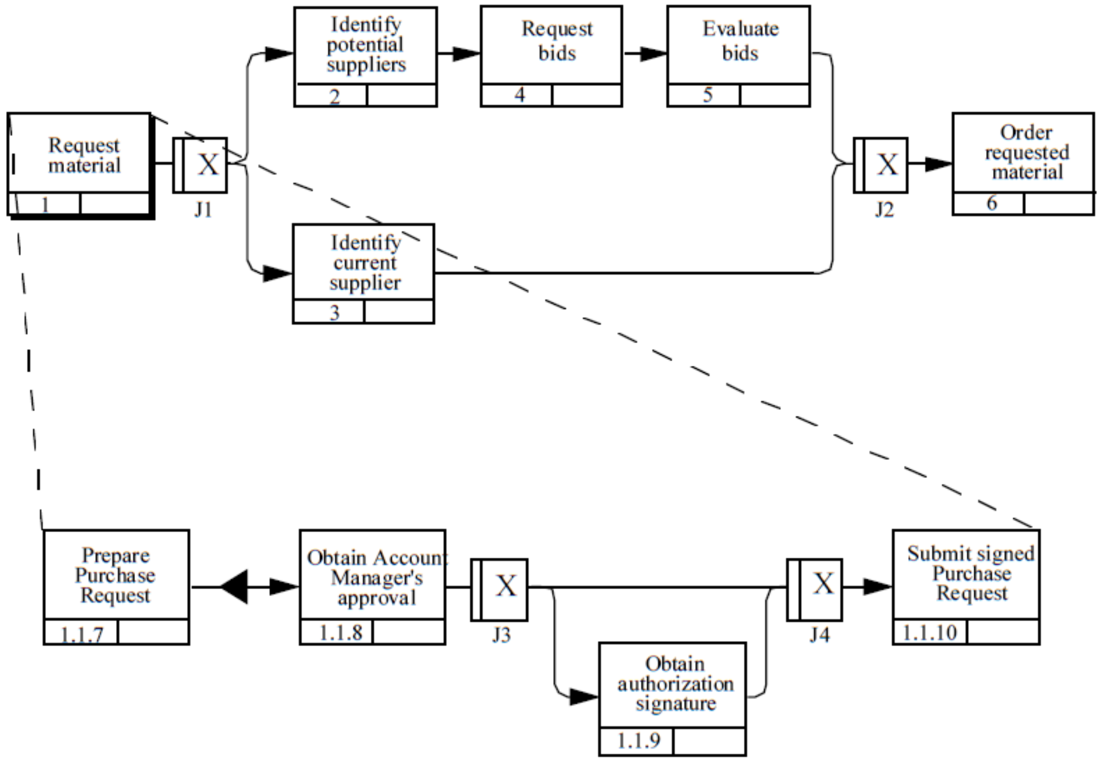


Рис. 4.10. Пример декомпозиции диаграммы IDEF3

Практическая работа № 5 «Моделирование экономических систем с использованием марковских цепей»

Цель работы. Решить задачи по вариантам.

Вар. 1

1) Магазин продает две марки автомобилей А и В. Опыт эксплуатации этих марок автомобилей свидетельствует о том, что для них имеют место различные матрица переходных вероятностей, соответствующие состояниям «работает хорошо» (состояние 1) и «требует ремонта» (состояние 2):

Автомобиль марки А $P_a = \begin{Vmatrix} 0{,}9 & 0{,}1 \\ 0{,}6 & 0{,}4 \end{Vmatrix}$

Автомобиль марки В $P_b = \begin{Vmatrix} 0{,}8 & 0{,}2 \\ 0{,}7 & 0{,}3 \end{Vmatrix}$

Элементы матрицы перехода определены на годовой период эксплуатации автомобиля.

Требуется найти вероятности состояний для каждой марки автомобиля после двухлетней эксплуатации, если в начальном состоянии автомобиль «работает хорошо».

2) В моменты времени t_1, t_2, t_3 производится осмотр ЭВМ. Возможны следующие состояния ЭВМ: S_0 – полностью исправна; S_1 – незначительные неисправности, которые позволяют эксплуатировать ЭВМ; S_2 – существенные неисправности, дающие возможность решать ограниченного число задач; S_3 – ЭВМ полностью вышла из строя.

Матрица переходных состояний имеет вид

$$\left\| P_{ij} \right\| = \begin{Vmatrix} 0{,}8 & 0{,}1 & 0{,}1 & 0 \\ 0 & 0{,}6 & 0{,}3 & 0{,}1 \\ 0 & 0 & 0{,}4 & 0{,}6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}$$

Постройте граф состояний. Найдите вероятность состояний ЭВМ после одного, двух, трех осмотров, если в начале (при t = 0) ЭВМ была полностью исправна.

Вар. 2

1) Магазин продает две марки автомобилей А и В. Опыт эксплуатации этих марок автомобилей свидетельствует о том, что для них имеют место различные матрица переходных вероятностей, соответствующие состояниям «работает хорошо» (состояние 1) и «требует ремонта» (состояние 2):

Автомобиль марки А $P_a = \begin{Vmatrix} 0{,}95 & 0{,}05 \\ 0{,}6 & 0{,}4 \end{Vmatrix}$

Автомобиль марки В $P_b = \begin{Vmatrix} 0{,}85 & 0{,}15 \\ 0{,}7 & 0{,}3 \end{Vmatrix}$

Элементы матрицы перехода определены на годовой период эксплуатации автомобиля.

Требуется найти вероятности состояний для каждой марки автомобиля после двухлетней эксплуатации, если в начальном состоянии автомобиль «работает хорошо».

2) В моменты времени t_1, t_2, t_3 производится осмотр ЭВМ. Возможны следующие состояния ЭВМ: S_0 – полностью исправна; S_1 – незначительные неисправности, которые позволяют эксплуатировать ЭВМ; S_2 – существенные неисправности, дающие возможность решать ограниченного число задач; S_3 – ЭВМ полностью вышла из строя.

Матрица переходных состояний имеет вид

$$\|P_{ij}\| = \begin{Vmatrix} 0{,}7 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0 \\ 0 & 0{,}4 & 0{,}3 & 0{,}3 \\ 0 & 0 & 0{,}2 & 0{,}8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}$$

Постройте граф состояний. Найдите вероятность состояний ЭВМ после одного, двух, трех осмотров, если в начале (при t = 0) ЭВМ была полностью исправна.

Вар. 3

1) Магазин продает две марки автомобилей А и В. Опыт эксплуатации этих марок автомобилей свидетельствует о том, что для них имеют место различные матрица переходных вероятностей, соответствующие состояниям «работает хорошо» (состояние 1) и «требует ремонта» (состояние 2):

Автомобиль марки А $P_a = \begin{Vmatrix} 0{,}8 & 0{,}2 \\ 0{,}6 & 0{,}4 \end{Vmatrix}$

Автомобиль марки В $P_b = \begin{Vmatrix} 0{,}91 & 0{,}09 \\ 0{,}7 & 0{,}3 \end{Vmatrix}$

Элементы матрицы перехода определены на годовой период эксплуатации автомобиля.

Требуется определить марку автомобиля, являющуюся более предпочтительной для приобретения в личное пользование (по результатам двухлетней эксплуатации).

2) В моменты времени t_1, t_2, t_3 производится осмотр ЭВМ. Возможны следующие состояния ЭВМ: S_0 – полностью исправна; S_1 – незначительные неисправности, которые позволяют эксплуатировать ЭВМ; S_2 – существенные неисправности, дающие возможность решать ограниченного число задач; S_3 – ЭВМ полностью вышла из строя.

Матрица переходных состояний имеет вид

$$\|P_{ij}\| = \begin{Vmatrix} 0{,}6 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0 \\ 0 & 0{,}5 & 0{,}4 & 0{,}1 \\ 0 & 0 & 0{,}3 & 0{,}7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}$$

Постройте граф состояний. Найдите вероятность состояний ЭВМ после одного, двух, трех осмотров, если в начале (при t = 0) ЭВМ была полностью исправна.

Вар. 4

1) Пусть автомобиль (система) в течение одной смены (суток) может находится в одном из двух состояний: исправном (S1) или неисправном (S2). В результате массовых наблюдений за работой автомобиля составлена следующая матрица вероятностей перехода:

$$P_{ij} = \begin{Vmatrix} 0{,}7 & 0{,}3 \\ 0{,}8 & 0{,}2 \end{Vmatrix}$$

Вектор начальных вероятностей состояний автомобиля задан $P(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$.

Требуется построить граф состояний системы и определить вероятность состояний автомобиля через четыре дня.

2) В моменты времени t_1, t_2, t_3 производится осмотр ЭВМ. Возможны следующие состояния ЭВМ: S_0 – полностью исправна; S_1 – незначительные неисправности, которые позволяют эксплуатировать ЭВМ; S_2 – существенные неисправности, дающие возможность решать ограниченного число задач; S_3 – ЭВМ полностью вышла из строя.

Матрица переходных состояний имеет вид

$$\|P_{ij}\| = \begin{Vmatrix} 0{,}5 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0 \\ 0 & 0{,}4 & 0{,}4 & 0{,}2 \\ 0 & 0 & 0{,}3 & 0{,}7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}$$

Постройте граф состояний. Найдите вероятность состояний ЭВМ после одного, двух, трех осмотров, если в начале (при t = 0) ЭВМ была полностью исправна.

Вар. 5

1) Организация по прокату автомобилей в городе выдает автомобили напрокат в трех пунктах города: А, В, С. Клиенты могут возвращать автомобили в любой из трех пунктов. Анализ процесса возвращения автомобилей из проката в течение года показал, что клиенты возвращают автомобили в пункты А, В, С в соответствии со следующими вероятностями:

Пункты выдачи	Пункты приема автомобилей		
	A	B	C
A	0,8	0,2	0
B	0,2	0	0,8
C	0,2	0,2	0,6

Требуется:

- в предположении, что число клиентов в городе не изменяется, найти процентное распределение клиентов, возвращающих автомобили по станциям проката к концу года, если в начале года оно было равномерным;
- найти вероятности состояний в установившемся режиме;
- определить пункт проката, у которого более целесообразно строить станцию по ремонту автомобилей.

2) В городе издаются три журнала: C_1, C_2, C_3 , и читатели выписывают только один из них. Пусть в среднем читатели стремятся поменять журнал, т. е. подписаться на другой не более одного раза в год, и вероятности таких изменений постоянны. Результаты маркетинговых исследований спроса читателей на журналы дали следующее процентное соотношение:

– 80% читателей С, подписываются на C_2;
– 15% читателей С2 подписываются на C_3;
– 8% читателей С3 подписываются на C_1.

Требуется:

– записать матрицу переходных вероятностей для средних годовых изменений;
– предположить, что общее число подписчиков в городе постоянно, и определить, какая доля из их числа будет подписываться на указанные журналы через два года, если по состоянию на 1 января текущего года каждый журнал имел одинаковое число подписчиков;
– найти вероятности состояний в установившемся режиме и определить журнал, который будет пользоваться наибольшим спросом у читателей.

Вар. 6

1) Техническое устройство имеет два возможных состояния: S1 – «исправно, работает»; S2 – «неисправно, ремонтируется». Матрица переходных вероятностей имеет вид:

$$\|P_{ij}\| = \begin{Vmatrix} 0,6 & 0,4 \\ 0,7 & 0,3 \end{Vmatrix}$$

Постройте граф состояний. Найдите вероятности состояний после третьего шага и в установившемся режиме, если в начальном состоянии техническое устройство исправно.

2) Техническое устройство состоит из двух узлов и может находиться в одном из следующих состояний:

– оба узла исправны, работают;
– неисправен только первый узел;
– неисправен только второй узел;
– неисправны оба узла.

Вероятность выхода из строя (отказов) после месячной эксплуатации для первого узла – $P_1 = 0{,}4$; для второго узла - $P_2 = 0{,}3$, а вероятность совместного выхода их из строя – $P_{1,2} = 0{,}1$. В исходном состоянии оба узла исправны, работают. Запишите матрицу исходных вероятностей и найдите вероятности состояний после двухмесячной эксплуатации.

Вар. 7

1) Магазин продает две марки автомобилей А и В. Опыт эксплуатации этих марок автомобилей свидетельствует о том, что для них имеют место различные матрица переходных вероятностей, соответствующие состояниям «работает хорошо» (состояние 1) и «требует ремонта» (состояние 2):

Автомобиль марки А $P_a = \begin{Vmatrix} 0{,}9 & 0{,}1 \\ 0{,}6 & 0{,}4 \end{Vmatrix}$

Автомобиль марки В $P_b = \begin{Vmatrix} 0{,}8 & 0{,}2 \\ 0{,}7 & 0{,}3 \end{Vmatrix}$

Элементы матрицы перехода определены на годовой период эксплуатации автомобиля.

Требуется найти вероятности состояний для каждой марки автомобиля после двухлетней эксплуатации, если в начальном состоянии автомобиль «требует ремонта».

2) В моменты времени t_1, t_2, t_3 производится осмотр ЭВМ. Возможны следующие состояния ЭВМ: S_0 – полностью исправна; S_1 – незначительные неисправности, которые позволяют эксплуатировать ЭВМ; S_2 – существенные неисправности, дающие возможность решать ограниченного число задач; S_3 – ЭВМ полностью вышла из строя.

Матрица переходных состояний имеет вид

$$\left\|P_{ij}\right\| = \begin{Vmatrix} 0{,}8 & 0{,}15 & 0{,}05 & 0 \\ 0 & 0{,}6 & 0{,}4 & 0{,}05 \\ 0 & 0 & 0{,}4 & 0{,}6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}$$

Постройте граф состояний. Найдите вероятность состояний ЭВМ после одного, двух, трех осмотров, если в начале (при t = 0) ЭВМ была полностью исправна.

Вар. 8

1) Пусть автомобиль (система) в течение одной смены (суток) может находится в одном из двух состояний: исправном (S1) или неисправном (S2). В результате массовых наблюдений за работой автомобиля составлена следующая матрица вероятностей перехода:

$$P_{ij} = \begin{Vmatrix} 0{,}8 & 0{,}2 \\ 0{,}9 & 0{,}1 \end{Vmatrix}$$

Вектор начальных вероятностей состояний автомобиля задан $P(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$.

Требуется построить граф состояний системы и определить вероятность состояний автомобиля через четверо суток.

2) Организация по прокату велосипедов в городе выдает велосипеды напрокат в трех пунктах города: А, В, С. Клиенты могут возвращать велосипеды в любой из трех пунктов. Анализ процесса возвращения велосипедов из проката в течение года показал, что клиенты возвращают велосипеды в пункты А, В, С в соответствии со следующими вероятностями:

Пункты выдачи	Пункты приема велосипедов		
	А	В	С
А	0,6	0,4	0
В	0,2	0,1	0,7
С	0,2	0,2	0,6

Требуется:

— в предположении, что число клиентов в городе не изменяется, найти процентное распределение клиентов, возвращающих велосипеды по станциям проката к концу года, если в начале года оно было равномерным;

— найти вероятности состояний в установившемся режиме;

— определить пункт проката, у которого более целесообразно строить станцию по ремонту велосипедов.

Вар. 9

1) Пусть автомобиль (система) в течение одной смены (суток) может находится в одном из двух состояний: исправном (S1) или неисправном (S2). В результате массовых наблюдений за работой автомобиля составлена следующая матрица вероятностей перехода:

$$P_{ij} = \begin{Vmatrix} 0{,}8 & 0{,}2 \\ 0{,}9 & 0{,}1 \end{Vmatrix}$$

Вектор начальных вероятностей состояний автомобиля задан $P(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$.

Требуется определить вероятность состояний автомобиля через четыре дня.

2) В моменты времени t_1, t_2, t_3 производится осмотр ЭВМ. Возможны следующие состояния ЭВМ: S_0 – полностью исправна; S_1 – незначительные неисправности, которые позволяют эксплуатировать ЭВМ; S_2 – существенные неисправности, дающие возможность решать ограниченного число задач; S_3 – ЭВМ полностью вышла из строя.

Матрица переходных состояний имеет вид

$$\left\|P_{ij}\right\| = \begin{Vmatrix} 0{,}5 & 0{,}3 & 0{,}2 & 0 \\ 0 & 0{,}4 & 0{,}4 & 0{,}2 \\ 0 & 0 & 0{,}3 & 0{,}7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}$$

Постройте граф состояний. Найдите вероятность состояний ЭВМ после одного, двух, трех осмотров, если в начале (при t = 0) ЭВМ имела незначительные неисправности, которые позволяли ее эксплуатировать.

Вар. 10

1) Пусть автомобиль (система) в течение одной смены (суток) может находится в одном из двух состояний: исправном (S1) или неисправном (S2). В результате массовых наблюдений за работой автомобиля составлена следующая матрица вероятностей перехода:

$$P_{ij} = \begin{Vmatrix} 0{,}7 & 0{,}3 \\ 0{,}8 & 0{,}2 \end{Vmatrix}$$

Вектор начальных вероятностей состояний автомобиля задан $P(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$.

Требуется построить граф состояний системы и определить вероятность состояний автомобиля через трое суток.

2) В моменты времени t_1, t_2, t_3 производится осмотр ЭВМ. Возможны следующие состояния ЭВМ: S_0 – полностью исправна; S_1 – незначительные неисправности, которые позволяют эксплуатировать ЭВМ; S_2 – существенные неисправности, дающие возможность решать ограниченного число задач; S_3 – ЭВМ полностью вышла из строя.

Матрица переходных состояний имеет вид

$$\|P_{ij}\| = \begin{Vmatrix} 0,7 & 0,2 & 0,1 & 0 \\ 0 & 0,4 & 0,3 & 0,3 \\ 0 & 0 & 0,2 & 0,8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}$$

Постройте граф состояний. Найдите вероятность состояний ЭВМ после одного, двух, трех осмотров, если в начале (при t = 0) ЭВМ имела незначительные неисправности, которые позволяют эксплуатировать.

Методические рекомендации. Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и дискретным временем называют *марковской цепью*. Для такого процесса моменты $t_1, t_2, \ldots,$ когда система S может менять свое состояние, рассматривают как последовательные шаги процесса, а в качестве аргумента, от которого зависит процесс, выступает не время *t*, а номер шага 1, 2, ... k, ... Случайный процесс в этом случае характеризуется последовательностью состояний *S(0), S(1),* $S(2)$, $S(k)$, где *S(0)* – начальное состояние системы (перед первым шагом); *S(1)* – состояние системы после первого шага; *S(k)* - состояние системы после *k*-го шага.

Событие $\{S(k) = Si\}$, состоящее в том, что сразу после k*-го* шага система находится в состоянии S_i (*i*= 1, 2, ...), является случайным событием. Последовательность состояний *S(0), S(1),…,*$S(k)$ можно рассматривать как последовательность случайных событий. Такая случайная последовательность событий называется марковской цепью, если для каждого шага вероятность перехода из любого состояния S_i в любое S_j не зависит от того, когда и как система пришла в состояние S_i. Начальное состояние *S(0)* может быть заданным заранее или случайным.

Вероятностями состояний цепи Маркова называются вероятности $Pj(k)$ того, что после *k*-го шага (и до $(k+1)$-го) система S будет находиться в состоянии S_i ($i = 1, 2, \ldots, n$). Очевидно, для любого k

$$\sum_{i=1}^{n} P_i(k) = 1$$

Начальным распределением вероятностей марковской цепи называется распределение вероятностей состояний в начале процесса $P_1(0)$, $P_2(0)$, ..., $P_i(0)$, ..., $P_n(0)$.

В частном случае, если начальное состояние системы S в точности известно $S(0) = S_i$, то начальная вероятность $P_i(0)= 1$, а все остальные равны нулю.

Вероятностью перехода (переходной вероятностью) на *k-м* шаге из состояния S_i в состояние S_j называется условная вероятность того, что система S после *k-го* шага окажется в состоянии S_j при условии, что непосредственно перед этим (после $k - 1$ шага) она находилась в состоянии S_i.

Поскольку система может пребывать в одном из n состояний, то для каждого момента времени t необходимо задать n^2 вероятностей перехода P_{ij}, которые удобно представить в виде матрицы переходных вероятностей:

$$\left\| P_{ij} \right\| = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix},$$

где P_{ij} - вероятность перехода за один шаг из состояния S_i в состояние S_j,

P_{ij} — вероятность задержки системы в состоянии S_j.

Если переходные вероятности не зависят от номера шага (от времени), а зависят только от того, из какого состояния в какое осуществляется переход, то соответствующая цепь Маркова называется однородной.

Переходные вероятности однородной марковской цепи P_{ij} образуют квадратную матрицу размера $n_x n$, особенности которой заключаются в следующем:

1. каждая строка характеризует выбранное состояние системы, а ее элементы представляют собой вероятности всех возможных переходов за один шаг из выбранного (из i-го) состояния, в том числе и переход в самое себя;
2. элементы столбцов показывают вероятности всех возможных переходов системы за один шаг в заданное (j-е) состояние (иначе говоря, строка характеризует вероятность перехода системы из состояния, столбец – в состояние);

3. сумма вероятностей каждой строки равна единице, так как переходы образуют полную группу несовместных событий:

$$\sum_{j=1}^{n} P_{ij} = 1, i = \overline{1,n}$$

4. по главной диагонали матрицы переходных вероятностей стоят вероятности P_{ij} того, что система не выйдет из состояния S_i, а останется в нем.

Если для однородной марковской цепи заданы начальное распределение вероятностей и матрица переходных вероятностей $||P_{ij}||$, то вероятности состояний системы $P_i(k)(i = \overline{1,n}; j = \overline{1,n})$ определяются по рекуррентной формуле [1, 2, 4, 9]:

$$P_i(k) = \sum_{j=1}^{n} P_j(k-1) * P_{ji} \qquad (i = \overline{1,n}; j = \overline{1,n})$$

Практическая работа № 6 «Моделирование экономических систем с использованием непрерывных цепей Маркова»

Цель работы. Решить задачи по вариантам.

Вар. 1

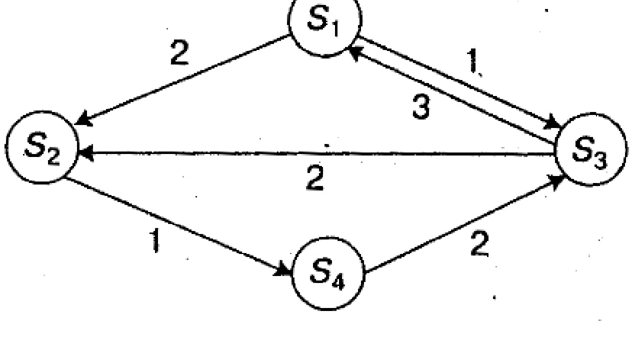
На автотранспортном предприятии (АТП) эксплуатируются модели автомобилей одной марки. Интенсивность поступления на АТП новых автомобилей $\alpha = 5$ автомобилей/год. Средний срок службы автомобиля до списания $T_{сп} = 7$ лет. Величина $T_{сп}$ распределена по показательному закону с параметром $\mu = \frac{1}{\bar{T}_{сп}}$. Найдите финальные вероятности и математическое ожидание числа эксплуатируемых автомобилей в стационарном режиме, если число автомобилей в АТП не ограничено.

Вар. 2

На автотранспортном предприятии (АТП) эксплуатируются модели автомобилей одной марки. Интенсивность поступления на АТП новых автомобилей $\alpha = 5$ автомобилей/год. Средний срок службы автомобиля до списания $T_{сп} = 7$ лет. Величина $T_{сп}$ распределена по показательному закону с параметром $\mu = \frac{1}{\bar{T}_{сп}}$. Найдите финальные вероятности и математическое ожидание числа эксплуатируемых автомобилей в стационарном режиме, если число автомобилей в АТП 60 штук (n = 60).

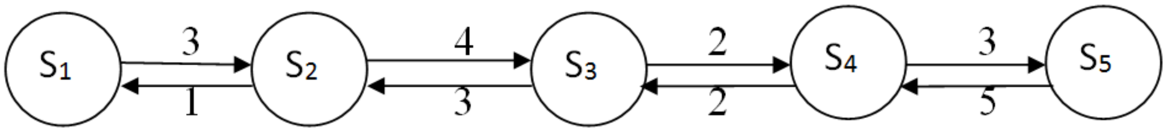
Вар. 3

Экономическая система S имеет возможные состояния S1, S2, S3, S4. Размеченный граф состояний системы с указанием численных значений интенсивности перехода показан на рисунке. Вычислите вероятности состояний в стационарном режиме.



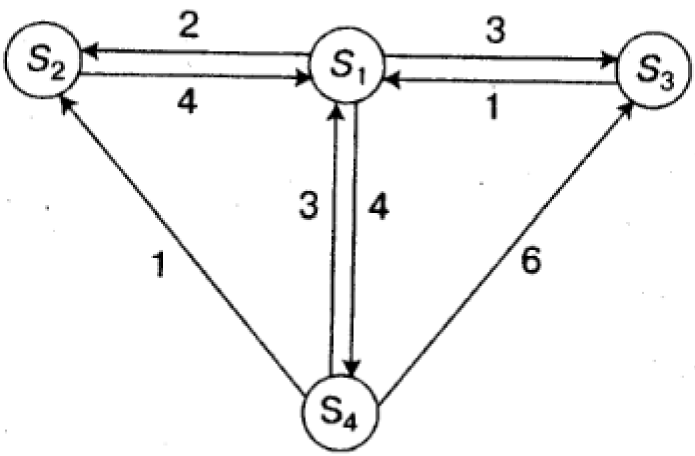
Вар. 4

Найдите вероятности состояний в стационарном режиме для процесса гибели и размножения, граф которого показан на рисунке.



Вар. 5

Граф состояний системы имеет вид, приведенный на рисунке:



Найдите вероятности состояний в стационарном режиме**.**

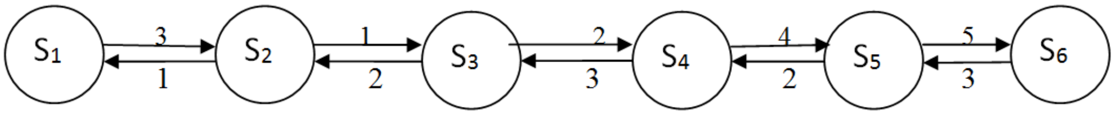
Вар. 6

Система учета на предприятии использует компьютерную сеть, в состав которой входить n = 6 персональных компьютеров (ПК). Ежегодно обслуживающий персонал проводит профилактический осмотр каждого ПК. Суммарный поток моментов окончания профилактических осмотров для всего участвующего персонала – пуассоновский с интенсивностью $\lambda = 0{,}5$ ч $^{-1}$ (число событий в единицу времени). После окончания осмотра с вероятностью p = 0,86 устанавливается, что ПК – работоспособный. Если ПК оказался неработоспособным, то вновь проводится профилактика. В начальный момент все ПК компьютерной сети нуждаются в профилактическом осмотре.

Постройте граф состояний для системы S (6 ПК), напишите дифференциальные уравнения для вероятностей состояний. Найдите вероятности состояний $P_i(3)$ и математическое ожидание числа персональных компьютеров (M_3), успешно прошедших профилактику после трех часов с начала обслуживания (t = 3).

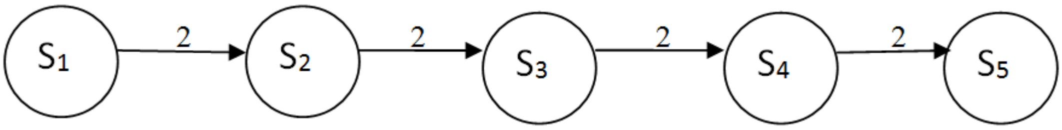
Вар. 7

Размеченный граф состояний в установившемся режиме для процесса гибели-размножения приведен на рисунке. Найдите вероятности состояний системы.



Вар. 8

Размеченный граф состояний представлен на рисунке. Найдите вероятности состояний S_i и характеристику $M[X(t)]$ на момент времени $t=3$.



Вар. 9

Рассматривается производство персональных компьютеров на заводе. Поток производимых компьютеров – простейший пуассоновский с интенсивностью $\lambda\ (t) = \lambda = 1200$ год $^{-1}$ (число компьютеров в год). Определите вероятность выпуска 5000 компьютеров. За четыре года работы завода вычислите характеристики процесса производства ПК $M[X(t)]$ *и* $D\ [X(t)]$, при $t = 4$ года. Постройте граф состояний процесса производства ПК.

Вар. 10

Аудиторская фирма разрабатывает проекты отдельных документов для 6 предприятий. Поток разрабатываемых документов - простейший пуассоновский с интенсивностью $\lambda = 2$ месяца $^{-1}$. Определите закон распределения случайного процесса $X(t)$ – число разрабатываемых документов на момент времени $t = 2$ месяца, если в момент t = 0 начата разработка документов. Вычислите математическое ожидание $M\ [X(t)]$ случайного процесса $X(t)$, предварительно построив размеченный граф состояний.

Методические рекомендации

Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем называется **непрерывной цепью Маркова** при условии, что переход системы из состояния в состояние происходит не в фиксированные, а в случайные моменты времени.

Пусть система характеризуется n состояниями S_0, S_1, S_2, …, S_n, а переход из состояния в состояние может осуществляться в любой момент времени. Обозначим через $P_i(t)$ вероятность того, что в момент времени t система S будет находиться в состоянии S_i (i = 0,1, ...,n). Требуется определить для любого t вероятности состояний $P_0(t)$, $P_1(t)$, ... $P_n(t)$. Очевидно, что $\sum_{i=0}^{n} P_i(t) = 1$.

Для процесса с непрерывным временем вместо переходных вероятностей P_{ij} рассматриваются плотности вероятностей перехода λ_{ij}, представляющие собой предел отношения вероятности перехода системы за время Δt из состояния S_i в состояние S_j к длине промежутка Δt:

$$\lambda_{ij}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P_{ij}(t;\Delta t)}{\Delta t},$$

где P_{ij} (t, Δt) - вероятность того, что система, пребывавшая в момент t в состоянии S_i за время Δt перейдет из него в состояние S_j (при этом всегда $i \neq j$).

Пусть система S имеет конечное число состояний S_0, S_1, ... S_n. Случайный процесс, протекающий в этой системе, описывается вероятностями состояний $P_0(t)$, $P_1(t)$, ... $P_n(t)$, где $P_i(t)$ – вероятность того, что система S в момент t находится в состоянии S_i. Для любого t

$$\sum_{i=0}^{n} P_i(t) = 1$$

Вероятности состояний $P_i(t)$ находят путем решения системы дифференциальных уравнений (уравнений Колмогорова), имеющих вид

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ji} P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij} \qquad (1)$$

где $i = 0, 1, \ldots n$.

Величина $\lambda_{ij}P_i(t)$ называется потоком вероятности перехода из состояния Si в Sj, причем интенсивность потоков λ_{ij} может зависеть от времени или быть постоянной.

Уравнения Колмогорова (1) составляют по размеченному графу состояний системы, пользуясь следующим мнемоническим правилом: производная вероятности каждого состояния равна сумме всех потоков вероятности, идущих из других состояний в данное состояние, минус сумма всех потоков вероятности, идущих из данного состояния в другие.

Финальные вероятности состояний (если они существуют) могут быть получены путем решения системы линейных алгебраических уравнений, которые получаются из дифференциальных уравнений Колмогорова, если приравнять производные к нулю, а вероятностные функции состояний $P_1(t),\dots, P_n(t)$ в правых частях уравнений (1) заменить соответственно на неизвестные финальные вероятности $P_1, \dots, P_n$.

Таким образом, для системы S с n состояниями получается система n линейных однородных алгебраических уравнений с n неизвестными $P_0, P_1, \dots ,P_n$, которые можно найти с точностью до произвольного множителя. Для нахождения точного значения $P_0, P_1, \dots ,P_n$ к уравнениям добавляют нормировочное условие $P_0 + P_1 + \dots + P_n = 1$, пользуясь которым можно выразить любую из вероятностей P_i через другие и отбросить одно из уравнений.

Марковский процесс с дискретными состояниями $S_0, S_1, S_2 ,\dots, S_n$ называется процессом гибели и размножения, если все состояния можно вытянуть в одну цепочку, в которой каждое из средних состояний ($S_1, S_2 ,\dots, S_{n-1}$)может переходить только в соседние состояния, которые, в свою очередь, переходят обратно, а крайние состояния (S_0 и S_n) переходят только в соседние состояния (рис. 5.1).

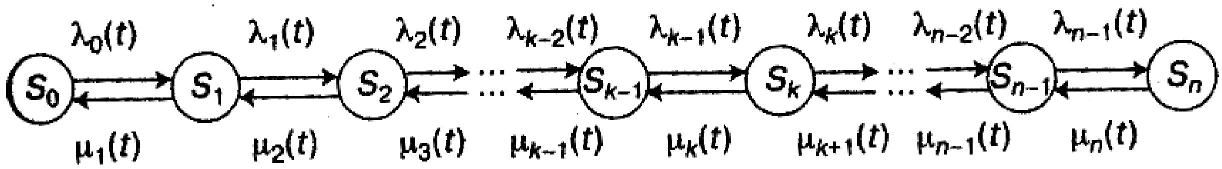


Рис. 5.1. Граф состояний для процесса гибели и размножения

Переход вправо связан с размножением единиц, а влево — с их гибелью.

$\alpha_0(t), \alpha_1(t), \alpha_2(t),\dots, \alpha_{n-1}(t)$ – интенсивности размножения,

$\mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_n(t)$ – интенсивности гибели.

У α и μ индекс того состояния, из которого стрелка выходит.

Предельные (финальные) вероятности состояний для простейшего эргодического процесса гибели и размножения, находящегося в стационарном режиме, определяются по следующим формулам:

$$P_k = \frac{\lambda_0 * \lambda_1 * \dots * \lambda_{k-1}}{\mu_1 * \mu_2 * \dots * \mu_k}, \qquad k = 1,2, \dots ,n$$

$$P_0 = \left\{1 + \frac{\lambda_0}{\mu_1} + \frac{\lambda_0 * \lambda_1}{\mu_1 * \mu_2} + \cdots + \frac{\lambda_0 * \lambda_1 * \ldots * \lambda_{n-1}}{\mu_1 * \mu_2 * \ldots * \mu_n}\right\}^{-1}$$

Правило. Вероятность k-го состояния в схеме гибели и размножения равна дроби, в числителе которой стоит произведение всех интенсивностей размножения, стоящих левее S_k, а в знаменателе – произведение всех интенсивностей гибели, стоящих левее S_k, умноженной на вероятность крайнего левого состояния системы P_0.

Для стационарного режима если интенсивность поступления объектов (в процессе гибели-размножения) постоянная ($\alpha(t)$ = α = const), то финальные вероятности состояний при условии, что нет ограничений на число объектов, равны

$$P_o = e^{-\frac{\lambda}{\mu}}$$

$$P_k = \left[\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{k!}\right] * e^{-\frac{\lambda}{\mu}}$$

При этом математическое ожидание числа объектов равно его дисперсии:

$$M[A(t)] = D[A(t)] = \frac{\lambda}{\mu}$$

Если существует ограничение по числу объектов (не более n), то финальные вероятности равны

$$P_o = \frac{e^{-\alpha}}{\sum_{k=0}^{n} \alpha^k * e^{-\frac{\alpha}{k!}}}, \qquad \text{где} \qquad \alpha = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$P_k = P_o * \frac{\alpha^k}{k!}, \qquad \text{где} \quad k = 0,1,2, \ldots,n$$

Математическое ожидание числа объектов в стационарном режиме [1, 2, 4, 9]:

$$M[A(t)] = \sum_{k=0}^{n} k * P_k$$

Практическая работа № 6 по теме «Моделирование систем массового обслуживания»

Цель работы. Решить задачи по вариантам

Вар. 1

1) Одноканальная СМО с отказами представляет собой одну телефонную линию. Заявка (вызов), пришедшая в момент, когда линия занята, получает отказ. Все потоки событий простейшие. Интенсивность потока λ = 0,5 вызова в минуту. Средняя продолжительность разговора $\overline{t_{обсл}} = 1\,мин$. Определите вероятностные характеристики СМО в установившемся режиме работы.
2) На пункт техосмотра поступает простейший поток заявок (автомобилей) интенсивности λ = 4 машины в час. Время осмотра распределено по показательному закону и равно в среднем 17 мин., в очереди может находится сколько угодно автомобилей. Определите вероятностные характеристики пункта техосмотра в установившемся режиме.

Вар. 2

1) В одноканальную СМО с отказами поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ = 0,5 заявки в минуту. Время обслуживания заявки имеет показательное распределение с $\overline{t_{обсл}} = 1{,}5\,мин$. Определите вероятностные характеристики СМО в установившемся режиме работы.
2) В бухгалтерии предприятия имеются два кассира, каждый из которых может обслужить в среднем 30 сотрудников в час. Поток сотрудников, получающих заработную плату, - простейший, с интенсивностью, равной 40 сотрудников в час. Очередь в кассе не ограничена. Дисциплина очереди не регламентирована. Время обслуживания подчинено экспоненциальному закону распределения. Вычислите вероятностные характеристики СМО в стационарном режиме.

Вар. 3

1) В вычислительном центре работает 5 персональных компьютеров. Простейший поток задач, поступающих на вычислительный центр, имеет интенсивность λ = 10 задач в час. Среднее время решения задачи

равно 12 мин. Заявка получает отказ, если все ПК заняты. Найдите вероятностные характеристики системы обслуживания.

2) Пост диагностики автомобилей представляет собой трехканальную СМО с отказами. Заявка на диагностику, поступившая в момент, когда пост занят, получает отказ. Интенсивность потока заявок на диагностику λ = 0,5 автомобилей в час. Средняя продолжительность диагностики $\overline{t_{обсл}} = 1,2\ часа$. Все потоки событий в системе простейшие. Определите в установившемся режиме вероятностные характеристики системы.

Вар. 4

1) Одноканальная СМО с отказами представляет собой одну телефонную линию. Заявка (вызов), пришедшая в момент, когда линия занята, получает отказ. Все потоки событий простейшие. Интенсивность потока λ = 0,6 вызова в минуту. Средняя продолжительность разговора $\overline{t_{обсл}} = 1\ мин$. Определите вероятностные характеристики СМО в установившемся режиме работы.
2) В бухгалтерии предприятия имеются два кассира, каждый из которых может обслужить в среднем 30 сотрудников в час. Поток сотрудников, получающих заработную плату, - простейший, с интенсивностью, равной 40 сотрудников в час. Очередь в кассе не ограничена. Дисциплина очереди не регламентирована. Время обслуживания подчинено экспоненциальному закону распределения. Определите целесообразность приема третьего кассира на предприятие, работающего с такой же производительностью, как и первые два.

Вар. 5

1) В одноканальную СМО с отказами поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ = 0,4 заявки в минуту. Время обслуживания заявки имеет показательное распределение с $\overline{t_{обсл}} = 1,5\ мин$. Определите вероятностные характеристики СМО в установившемся режиме работы.
2) Пост диагностики автомобилей представляет собой трехканальную СМО с отказами. Заявка на диагностику, поступившая в момент, когда пост занят, получает отказ. Интенсивность потока заявок на диагностику λ = 0,6 автомобилей в час. Средняя продолжительность диагностики $\overline{t_{обсл}} = 1,5\ часа$. Все потоки событий в системе простейшие. Определите в установившемся режиме вероятностные характеристики системы.

Вар. 6

1) В вычислительном центре работает 6 персональных компьютеров. Простейший поток задач, поступающих на вычислительный центр, имеет интенсивность $\lambda = 10$ задач в час. Среднее время решения задачи равно 12 мин. Заявка получает отказ, если все ПК заняты. Найдите вероятностные характеристики системы обслуживания.
2) В бухгалтерии предприятия имеются два кассира, каждый из которых может обслужить в среднем 25 сотрудников в час. Поток сотрудников, получающих заработную плату, - простейший, с интенсивностью, равной 38 сотрудников в час. Очередь в кассе не ограничена. Дисциплина очереди не регламентирована. Время обслуживания подчинено экспоненциальному закону распределения. Вычислите вероятностные характеристики СМО в стационарном режиме.

Вар. 7

1) На пункт техосмотра поступает простейший поток заявок (автомобилей) интенсивности $\lambda = 4$ машины в час. Время осмотра распределено по показательному закону и равно в среднем 17 мин., в очереди может находится не более 5 автомобилей. Определите вероятностные характеристики пункта техосмотра в установившемся режиме.
2) Пост диагностики автомобилей представляет собой трехканальную СМО с отказами. Заявка на диагностику, поступившая в момент, когда пост занят, получает отказ. Интенсивность потока заявок на диагностику $\lambda = 0{,}4$ автомобилей в час. Средняя продолжительность диагностики $\overline{t_{обсл}} = 2\ часа$. Все потоки событий в системе простейшие. Определите в установившемся режиме вероятностные характеристики системы.

Вар. 8

1) Одноканальная СМО с отказами представляет собой одну телефонную линию. Заявка (вызов), пришедшая в момент, когда линия занята, получает отказ. Все потоки событий простейшие. Интенсивность потока $\lambda = 0{,}4$ вызова в минуту. Средняя продолжительность разговора $\overline{t_{обсл}} = 1{,}5\ мин$. Определите вероятностные характеристики СМО в установившемся режиме работы.

2) В бухгалтерии предприятия имеются два кассира, каждый из которых может обслужить в среднем 35 сотрудников в час. Поток сотрудников, получающих заработную плату, - простейший, с интенсивностью, равной 45 сотрудников в час. Очередь в кассе не ограничена. Дисциплина очереди не регламентирована. Время обслуживания подчинено экспоненциальному закону распределения. Определите целесообразность приема третьего кассира на предприятие, работающего с такой же производительностью, как и первые два.

Вар. 9

1) В одноканальную СМО с отказами поступает простейший поток заявок с интенсивностью $\lambda = 0{,}55$ заявки в минуту. Время обслуживания заявки имеет показательное распределение с $\overline{t_{обсл}} = 1{,}6\ мин.$ Определите вероятностные характеристики СМО в установившемся режиме работы.
2) На пункт техосмотра поступает простейший поток заявок (автомобилей) интенсивности $\lambda = 5$ машины в час. Время осмотра распределено по показательному закону и равно в среднем 15 мин., в очереди может находится сколько угодно автомобилей. Определите вероятностные характеристики пункта техосмотра в установившемся режиме.

Вар. 10

1) В вычислительном центре работает 5 персональных компьютеров. Простейший поток задач, поступающих на вычислительный центр, имеет интенсивность $\lambda = 11$ задач в час. Среднее время решения задачи равно 10 мин. Заявка получает отказ, если все ПК заняты. Найдите вероятностные характеристики системы обслуживания.
2) На пункт техосмотра поступает простейший поток заявок (автомобилей) интенсивности $\lambda = 6$ машины в час. Время осмотра распределено по показательному закону и равно в среднем 14 мин., в очереди может сколько угодно автомобилей. Определите вероятностные характеристики пункта техосмотра в установившемся режиме.

Вар. 11

1) На пункт техосмотра поступает простейший поток заявок (автомобилей) интенсивности $\lambda = 5$ машины в час. Время осмотра распределено

по показательному закону и равно в среднем 15 мин., в очереди может находится не более 5 автомобилей. Определите вероятностные характеристики пункта техосмотра в установившемся режиме.
2) Пост диагностики автомобилей представляет собой двухканальную СМО с отказами. Заявка на диагностику, поступившая в момент, когда пост занят, получает отказ. Интенсивность потока заявок на диагностику λ = 0,5 автомобилей в час. Средняя продолжительность диагностики $\overline{t_{обсл}} = 1{,}2$ *часа*. Все потоки событий в системе простейшие. Определите в установившемся режиме вероятностные характеристики системы.

Вар. 12

1) На пункт техосмотра поступает простейший поток заявок (автомобилей) интенсивности λ = 6 машины в час. Время осмотра распределено по показательному закону и равно в среднем 14 мин., в очереди может находится не более 5 автомобилей. Определите вероятностные характеристики пункта техосмотра в установившемся режиме.
2) Пост диагностики автомобилей представляет собой двухканальную СМО с отказами. Заявка на диагностику, поступившая в момент, когда пост занят, получает отказ. Интенсивность потока заявок на диагностику λ = 0,6 автомобилей в час. Средняя продолжительность диагностики $\overline{t_{обсл}} = 1{,}4$ *часа*. Все потоки событий в системе простейшие. Определите в установившемся режиме вероятностные характеристики системы.

Методические рекомендации.

Простейшая одноканальная модель* с *отказами может быть представлена в виде графа (рис. 1.13), у которого имеются два состояния:

S_0 - канал свободен (ожидание);

S_1 - канал занят (идет обслуживание заявки);

λ - интенсивность поступления заявок в систему;

μ - интенсивность обслуживания.

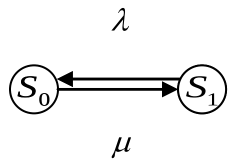


Рис. 6.1. Граф состояний одноканальной СМО с отказами

Обозначим вероятности состояний:

$P_0(t)$ — вероятность состояния «канал свободен»;

$P_1(t)$ — вероятность состояния «канал занят».

$$P_0(t) + P_1(t) = 1$$

$$P_1(t) = 1 - P_0(t)$$

$$P_0(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} + \frac{\mu}{\lambda+\mu}$$

Для одноканальной СМО с отказами вероятность $P_0(t)$ - это *относительная пропускная способность* системы q. Действительно, P_0— вероятность того, что в момент t канал свободен и заявка, пришедшая к моменту t, будет обслужена, а следовательно, для данного момента времени t среднее отношение числа обслуженных заявок к числу поступивших также равно $P_0(t)$, то есть

$$q = P_0(t)$$

По истечении большого интервала времени (при $t \to \infty$) достигается *стационарный (установившийся) режим*:

$$q = P_0 = \frac{\mu}{\mu+\lambda}$$

Абсолютная пропускная способность (А) – среднее число заявок, которое может обслужить система массового обслуживания в единицу времени:

$$A = \lambda \cdot q = \frac{\lambda+\mu}{\lambda+\mu}$$

Вероятность отказа (средняя доля необслуженных заявок среди поданных) в обслуживании заявки будет равна вероятности состояния «канал занят»:

$$P_{отк} = P_1 = 1 - P_0 = 1 - \frac{\mu}{\lambda+\mu} = \frac{\lambda}{\lambda+\mu}$$

Рассмотрим ***одноканальную СМО с ожиданием***.

Система массового обслуживания имеет один канал. Входящий поток заявок - простейший поток с интенсивностью λ. Интенсивность потока обслуживания равна μ (т. е. в среднем непрерывно занятый канал будет выдавать μ обслуженных заявок). Длительность обслуживания – случайная величина, подчиненная показательному закону распределения. Поток обслуживаний является простейшим пуассоновским потоком событий. Заявка, поступившая в момент, когда канал занят, становится в очередь и ожидает обслуживания.

Предположим, что независимо от того, сколько требований подступает на вход обслуживающей системы, данная система (очередь + обслуживаемые клиенты) не может вместить более *N*-требований (заявок). Источник, порождающий заявки на обслуживание, имеет неограниченную (бесконечно большую) емкость.

Граф состояний СМО в этом случае имеет вид, показанный на рис 6.1.

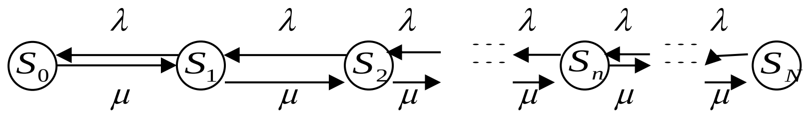


Рис. 6.2. Граф состояний одноканальной СМО с ожиданием (схема гибели и размножения)

Состояния СМО имеют следующую интерпретацию:

S_0 — «канал свободен»;

S_1— «канал занят» (очереди нет);

S_2 — «канал занят» (одна заявка стоит в очереди);

…………………………

S_n— «канал занят» (n — 1 заявок стоит в очереди);

…………………………

S_N — «канал занят» (N — 1 заявок стоит в очереди).

Стационарный процесс в системе будет описываться системой алгебраических уравнений, решение которой для модели СМО имеет вид:

$$P_n = \begin{cases} P_0 \cdot \rho^n, \rho \neq 1, n = 1, 2..., N \\ \dfrac{1}{(N+1)}, \rho = 1 \end{cases}$$

где $$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Определим характеристики одноканальной СМО с ожиданием и ограниченной длиной очереди, равной (N- 1):

- вероятность отказа в обслуживании заявки:

$$P_{отк} = P_N = \begin{cases} \left(\dfrac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}}\right)\rho^N, \rho \neq 1 \\ \dfrac{1}{(N+1)}, \rho = 1 \end{cases}$$

- относительная пропускная способность системы:

$$q = 1 - P_{отк} = \begin{cases} 1-\left(\dfrac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}}\right)\rho^N, \rho \neq 1 \\ 1-\dfrac{1}{(N+1)}, \rho = 1 \end{cases}$$

- абсолютная пропускная способность:

$$A = q \cdot \lambda$$

- среднее число находящихся в системе заявок:

$$L_S = \sum_{n=0}^{N} n \cdot P_n = \begin{cases} \dfrac{\rho \cdot \left[1-(N+1)\cdot\rho^N + N\cdot\rho^{N+1}\right]}{(1-\rho)\cdot(1-\rho^{N+1})}, \rho \neq 1 \\ N/2, \rho = 1 \end{cases}$$

- среднее время пребывания заявки в системе:

$$W_S = \frac{L_S}{\lambda(1-P_N)}$$

- средняя продолжительность пребывания клиента (заявки) в очереди:

$$W_d = W_S - 1/\mu$$

- среднее число заявок (клиентов) в очереди (длина очереди)

$$L_q = \lambda(1-P_N)W_d$$

Рассмотрим ***одноканальную СМО с ожиданием без ограничения на вместимость блока ожидания*** (т. е. $N \to \infty$). Остальные условия функционирования СМО остаются без изменений.

Характеристики одноканальной СМО с ожиданием, без ограничения на длину очереди, следующие:

- среднее число находящихся в системе клиентов (заявок) на обслуживание:

$$L_S = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot P_n = \frac{\rho}{1-\rho}$$

- средняя продолжительность пребывания клиента в системе:

$$W_S = \frac{L_S}{\lambda} = \frac{1}{\left[\mu \cdot (1-\rho)\right]}$$

- среднее число клиентов в очереди на обслуживании:

$$L_q = L_S - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\rho^2}{(1-\rho)}$$

- средняя продолжительность пребывания клиента в очереди:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho}{\left[\mu \cdot (1-\rho)\right]}$$

В подавляющем большинстве случаев на практике системы массового обслуживания являются многоканальными ***с n обслуживающими каналами*** (где n > 1).

Процесс массового обслуживания, описываемый данной моделью, характеризуется интенсивностью входного потока λ, при этом параллельно может обслуживаться не более n клиентов (заявок). Средняя продолжительность обслуживания одной заявки равняется $1/\mu$. Входной и выходной потоки являются пуассоновскими. Режим функционирования того или иного обслуживающего канала не влияет на режим функционирования других обслуживающих каналов системы, причем длительность процедуры обслуживания каждым из каналов является случайной величиной, подчиненной экспоненциальному закону распределения. Конечная цель использования n параллельно включенных обслуживающих каналов заключается в повышении (по сравнению с одноканальной системой) скорости обслуживания требований за счет обслуживания одновременно n клиентов.

Граф состояний многоканальной системы массового обслуживания с отказами имеет вид, показанный на рис. 6.2.

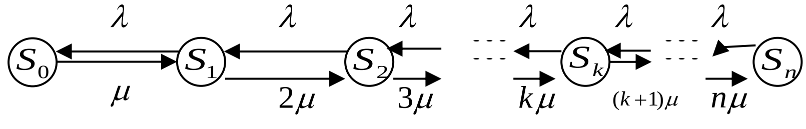


Рис. 6.3. Граф состояний многоканальной СМО с отказами

Состояния данной СМО имеют следующую интерпретацию:

S_0 — все каналы свободны;

S_1— занят один канал, остальные свободны;

…………….

S_k – заняты ровно k каналов, остальные свободны;

…………………………

S_n – заняты все n каналов, заявка получает отказ в обслуживании.

Начальные условия решения системы таковы:

$P_0(0) = 1,\ P_1(0) = P_2(0) = \ldots = P_k(0) = \ldots = P_n(0) = 0$

Стационарное решение системы имеет вид:

$$\begin{cases} P_k = \dfrac{\dfrac{\rho}{k!}}{\sum\limits_{k=0}^{n} \dfrac{\rho^k}{k!}} = \dfrac{\rho}{k!} \cdot P_{0,} k = 0, 1, 2, \ldots, n \\ P_0 = \dfrac{1}{\left[\sum\limits_{k=0}^{n} \dfrac{\rho^k}{k!} \right]}, k = 0, 1, 2, \ldots, n \end{cases}$$

где $\rho = \dfrac{\lambda}{\mu}$

Формулы для вычисления вероятностей P_k называются **формулами Эрланга**.

Вероятностные характеристики функционирования многоканальной СМО с отказами в стационарном режиме:

- вероятность отказа (заявка получает отказ, если приходит в момент, когда все n каналов заняты. Величина $P_{отк}$ характеризует полноту обслуживания входящего потока):

$$P_{отк} = P_n = \frac{\rho^n}{n!} \cdot P_{0,}$$

- вероятность того, что заявка будет принята к обслуживанию (она же — относительная пропускная способность системы q) дополняет $P_{отк}$ до единицы:

$$q = 1 - P_{отк} = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \cdot P_{0,}$$

- абсолютная пропускная способность:

$$A = \lambda \cdot q = \lambda \cdot (1 - P_{отк})$$

- среднее число каналов, занятых обслуживанием ($\bar{k}$) следующее:

$$\bar{k} = \sum_{k=1}^{n} k \cdot P_k = \rho \cdot (1 - P_{отк})$$

Величина $\bar{k}$ характеризует степень загрузки СМО.

Рассмотрим ***многоканальную систему массового обслуживания с ожиданием.*** Процесс массового обслуживания при этом характеризуется следующим: входной и выходной потоки являются пуассоновскими с интенсивностями λ и μ соответственно; параллельно обслуживаться могут не более С клиентов. Система имеет С каналов обслуживания. Средняя продолжительность обслуживания одного клиента равна 1/μ.

В установившемся режиме функционирование многоканальной СМО с ожиданием и неограниченной очередью может быть описано с помощью системы алгебраических уравнений, решение которой имеет вид:

$$\begin{cases} P_n = \dfrac{\rho^n}{n!} \cdot P_0 & 0 \le n \le C \\ P_n = \dfrac{\rho^n}{C! \cdot C!^{n-c}} \cdot P_0 & n \ge C \end{cases}$$

где

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{C-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^C}{C! \cdot \left[1 - \left(\dfrac{\rho}{C}\right)\right]} \right\}^{-1}$$

Вероятностные характеристики функционирования в стационарном режиме многоканальной СМО с ожиданием и неограниченной очередью определяются по следующим формулам:

- вероятность того, что в системе находится n клиентов на обслуживании, определяется по формулам:

$$\begin{cases} P_n = \dfrac{\rho^n}{n!} \cdot P_0 & 0 \le n \le C \\ P_n = \dfrac{\rho^n}{C! \cdot C!^{n-c}} \cdot P_0 & n \ge C \end{cases}$$

- среднее число клиентов в очереди на обслуживание

$$L_q = \left[\frac{C \cdot \rho}{(C \cdot \rho)^2} \right] \cdot P_C$$

- среднее число находящихся в системе клиентов (заявок на обслуживание и в очереди)

$$L_S = L_q + \rho$$

- средняя продолжительность пребывания клиента (заявки на обслуживание) в очереди

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

- средняя продолжительность пребывания клиента в системе [1, 2, 9]:

$$W_S = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Литература

1) Бережная Е.В. Математические методы моделирования экономических систем: учеб. пособие/ Е. В. Бережная, В. И. Бережной. - изд. 2-е, перераб. и доп. - М: Финансы и статистика, 2008. – 430 с.
2) Высшая математика для экономистов / под ред. проф. Н. Ш. Кремера.— 3-е изд .— М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010 .— 478 с.
3) Геркул В.И., Денищенко Г.Н., Коровкина Н.Л. Проектирование информационных систем – М.: Интернет-Университет Информ. Технологий – 2005. – 304 с.
4) Глухов В.В., Медников М.Д., Коробко С.Б. Математические методы и модели для менеджмента. 3-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2007. – 528 с.
5) Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с BPwin 4.0. – Изд. «Диалог-МИФИ», 2009. - 224 с.
6) Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nsu.ru/smk/files/idef.pdf , свободный
7) Методы и модели информационного менеджмента: учебное пособие/ Д.В. Александров, А.В. Костров, Р.И. Макаров, Е.Р. Хорошева; под ред. А.В. Кострова. - М.: Финансы и статистика, 2007. — 336 с.
8) Цуканова О. А. Методология и анализ бизнес-процессов: учебное пособие – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 79 с.
9) Цуканова О.А. Математические методы моделирования экономических систем - СПб.: СПб ГУИТМО, 2012. – Электронное учебное пособие - Режим доступа: C:\fakepath\ПОСОБИЕ_ММ_1.pdf
10) Information Integration For Concurrent Engineering IDEF 3 Process Description Capture Method Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cs.tcd.ie/Andrew.Butterfield/Teaching/CS4098/IDEF/IDEF-compendium.pdf , свободный

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ЭКОНОМИКИ И СТРАТЕГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Кафедра образована 9 февраля 2015 в результате реорганизации, проводимой в Университете ИТМО, на базе кафедр «Прикладной экономики и маркетинга», «Экономической теории и бизнеса» гуманитарного факультета и «Экономической теории и экономической политики» факультета экономики и экологического менеджмента.

Кафедры экономической теории и бизнеса и прикладной экономики и маркетинга организованы в 90-х годах XX века, в ответ на резко возросшие запросы общества на специалистов в области экономики и ведения бизнеса.

Характерной чертой кафедры является разветвленная прикладная *научная деятельность*, которая изначально была возглавлена доктором экономических наук, профессором О.В. Васюхиным, признанным специалистом в области организации производственных структур, на счету которого 63 опытно-конструкторских разработки, одна из которых удостоена бронзовой медали ВДНХ в 1982 г. С 1990 под его непосредственным управлением выполнялись крупные хоздоговорные разработки по организации опытного производства для ряда Ленинградских НИИ, заводов и опытных производств, включая ГОИ им. С. Н. Вавилова и др.

Кафедра экономической теории и экономической политики (ЭТиЭП) создана в 2007 году решением ректората университета. С момента организации кафедрой заведовала доктор экономических наук, профессор Наталья Александровна Шапиро, автор более 170 научных и учебно-методических работ, действительный член международной общественной организации «Академия философии хозяйства» (на базе МГУ им. М.В. Ломоносова), сотрудник международной лаборатории «Устойчивое развитие и ресурсная эффективность в продуктовой цепочке», заместитель главного редактора научного журнала Университета ИТМО «Экономика и экологический менеджмент», включенного в перечень журналов ВАК. С 09.02.2015 года кафедра ЭТиЭП вошла в состав кафедры экономики и стратегического менеджмента.

Основные учебные курсы кафедры ЭиСМ: «Экономическая теория», «Экономика предприятия», «Микроэкономика», «Макроэкономика», «Экономическая оценка инвестиций», «Бизнес-планирование», «Бизнес-аналитика и аналитические информационные системы», «Методология и инструментарий моделирования бизнес-процессов», «Архитектура предприятия», «Региональная экономика», «Национальная экономика», «Социальное и экономическое прогнозирование», «Информатика», «Корпоративные информационные системы в экономике», «Экономика защиты информации», «Предметно-ориентированные экономические информационные системы» и др.

Кафедра постоянно обновляет *учебно-методическую базу* путем разработки и внедрения в учебный процесс новых методических материалов (пособий, электронных учебников, тестовых программ для дистанционного обучения). Авторские курсы отображают мнение как специалистов промышленности, так и ученых родственных кафедр. Связь с внешними организациями позволяет обновлять содержательную часть читаемых профессиональных дисциплин в пределах 10-15% ежегодно.

Обучение проводится на основе *материально-технической базы факультета*. Компьютерные классы межкафедральной лаборатории и собственные ресурсы кафедры насчитывают несколько десятков новейших компьютеров. В учебном процессе активно используется INTERNET на основе постоянно действующего сервера, подключенного по оптоволоконным линиям связи. Сетевой класс также подключен к университетской сети RUNNET.

Кафедра проводит *научные исследования и разработки* по направлениям:

- проектирование и экономическое обоснование оптических систем для фундаментальных и прикладных исследований;
- регулирование производственной деятельности на разных уровнях управления, обоснование инновационных проектов;
- автоматизация хозяйственной деятельности предприятий, анализ и моделирование IT-инфраструктуры хозяйствующих субъектов;
- анализ, обоснование и разработка антикризисных и стабилизационных программ в национальной экономике;
- планирование кадровых стратегий и научных исследований, проводимых в соответствующих организациях.

В результате обширной научной деятельности кафедра установила и поддерживает эффективное сотрудничество с родственными кафедрами российских вузов, в том числе СПбГУ, СПбУЭиФ, СПбГИКиТ, СПбГМТУ, МУСЭИ, РЭУ им Г.В. Плеханова и другими. За последние 5 лет сотрудники кафедры участвовали в 50 международных и отечественных конференциях, 4 раза выезжали в научные командировки по приглашениям зарубежных партнеров. Опубликовано более 10 монографий, более 90 научных публикаций, в том числе учебных пособий и методических работ.

В настоящее время кафедра готовит бакалавров по направлению 38.03.01 Экономика (Экономика предприятий и организаций, Макроэкономическое планирование и прогнозирование), 38.03.05 Бизнес-информатика (Информационные технологии в бизнесе), магистров по направлению 38.04.05 Бизнес-информатика (IT-консалтинг), 38.04.01 Экономика (Экономика предпринимательской деятельности, Региональная экономика).

Основные цели развития кафедры: совершенствование методов научно-исследовательской работы студентов, аспирантов, научно-педагогических работников; организация и осуществление широкого круга прикладных научных исследований; развитие устойчивых связей с зарубежными партнерами.

Цуканова Ольга Анатольевна

Методология и инструментарий моделирования бизнес-процессов: практический курс
Учебное пособие

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Подписано к печати
Заказ №
Тираж 50 экз.
Отпечатано на ризографе