

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ПАКЕТЕ ARENA

*Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)» в качестве методических указаний*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2014

УДК СГАУ: 6(075)

Рецензенты канд техн. наук, доц. И. В. П о т а п о в

**Имитационное моделирование информационных систем в пакете Arena:**  
метод. указания / сост. Д.Ю. Киселев, Ю.В. Киселев, В.В. Бибиков. – Самара:  
Изд-во СГАУ, 2014. – 20 с.

Содержатся основные сведения, необходимые для работы с программным продуктом Arena – инструментом имитационного моделирования для построения динамических моделей и их оптимизации. Приведена схема экспорта модели из BPWin/IDEF3 в Arena.

Предназначены для студентов специальностей и направлений подготовки «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей» и «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов».

Разработаны на кафедре ЭАТ.

УДК СГАУ: 6(075)

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2014

*Учебное издание*

**Денис Юрьевич Киселев, Юрий Витальевич Киселев,  
Виктор Викторович Бибиков**

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ПАКЕТЕ ARENA:**

*Методические указания*

Редактор И.И. Спиридонова  
Доверстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 8.12.2014. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 1,25. Тираж 50 экз. Заказ . Арт. 42 /2014.

Самарский государственный аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

## ВВЕДЕНИЕ

Возрастающие потребительские ожидания и конкурентное давление в мире электронной коммерции существенно повышают значимость слаженной работы всех компонентов бизнеса. Решающее влияние на конечный результат деятельности и конкурентоспособность оказывают проектирование и реализация всех процессов – поставки, производства, обслуживания клиентов и внутренней организации.

Последствия неудачно спланированной реализации могут оказаться катастрофическими и привести к разочарованию клиентов, краху бизнеса и потере прибыли.

Под имитационным моделированием в системе имитационного моделирования Агены понимают создание компьютерной модели реальной или предполагаемой системы (физической, технологической, финансовой и т.п.) и проведение на построенной модели экспериментов с целью описания наблюдаемых результатов и/или предсказания будущих результатов. Очевидно, замена реального эксперимента имитационным моделированием позволяет сократить затраты, необходимые для проведения исследований. Кроме того, в некоторых ситуациях эксперименты на реальных системах могут быть чрезвычайно опасны или невозможны.

Когда на карту ставится судьба предприятия, Агента помогает выбрать наиболее выгодные стратегии и дает уверенность при запуске в эксплуатацию, позволяя при этом устранить лишние расходы, оптимизировать инвестиции и укрепить отношения с заказчиками.

Агента позволила организациям в разных странах:

- избежать дорогостоящих ошибок, вызываемых реализацией исключительно интуитивных решений;
- разработать процессы, позволяющие бороться с тупиками и неопределенностью, вызванными случайностью и непостоянством систем;
- обнаружить скрытые резервы и устранить тормозящие факторы в существующих реализациях и внутренних процессах;
- укрепить отношения с заказчиками путем повышения качества услуг и скорости их предоставления.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ПАКЕТЕ ARENA

**Целью работы** является ознакомление пользователя с графическим интерфейсом приложения **Arena**, получения практических навыков в построении простейшей имитационной модели и анализе результатов моделирования.

### Теоретические сведения

**Arena** – система имитационного моделирования, которая позволяет создавать динамические модели разнородных процессов и систем, оптимизировать построенную модель. Программа **Arena** снабжена удобным объектно-ориентированным интерфейсом, обладает широкими функциональными возможностями по адаптации к различным предметным областям.

Основой технологии моделирования **Arena** являются язык моделирования **SIMAN** и анимационная система **Cinema Animation**. Отличается гибкими и выразительными средствами моделирования. Отображение результатов моделирования в **Arena** выполняется с использованием **Cinema Animation**. Процесс моделирования организован следующим образом. Сначала пользователь, шаг за шагом, строит в визуальном редакторе программы **Arena** модель. Затем система генерирует по ней соответствующий код на **SIMAN**, после чего автоматически запускается **Cinema Animation**.

**Arena** состоит из блоков моделирования (модули) и операций (сущности). Сущности перемещаются между модулями по мере их обслуживания.

### Построение простейшей имитационной модели

1. Запустите программу **Arena**, выбрав **Программы/Rockwell Software/Arena 9.0** из меню Пуск. Появится главное окно приложения (рис. 1.1), которое содержит 3 области: окно рабочего модуля; окно свойств модулей; окно проекта.

Окно проекта включает в себя несколько панелей:

- **Basic Process** (панель основных процессов)
- **Reports** (панель отчетов)
- **Navigate** (панель навигации)

В панели основных процессов **Basic Process** находятся основные графические модули и модули данных для создания простых имитационных моделей. Описание основных модулей приведено в табл. 1.1.

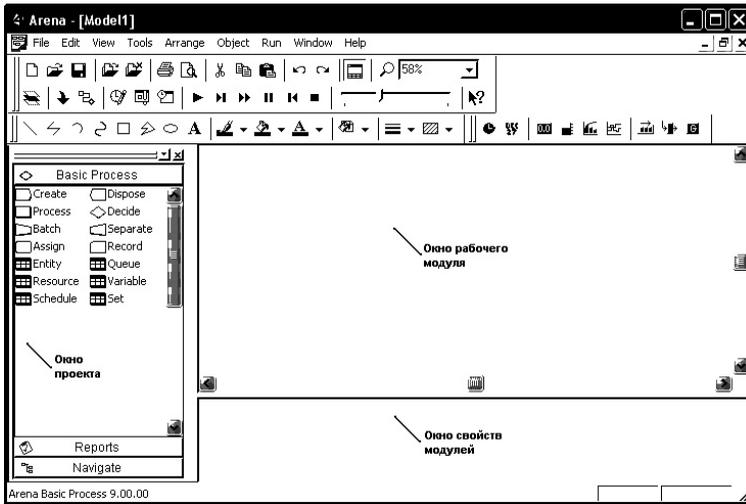
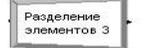
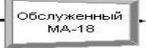
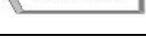


Рис.1.1. Главное окно программы Arena

Таблица 1.1. Основные модули панели Basic Process

	модуль <i>Create</i> . Является начальной точкой для элементов в имитационной модели. В модуле определяется тип элементов и время их появления.
	модуль <i>Separate</i> . Этот модуль используется для разделения элементов на отдельные составляющие.
	модуль <i>Process</i> . Основной модуль процесса обработки в имитационной модели. В модуле задаются ограничения на использование ресурсов, а также стоимость и временные характеристики процесса обработки.
	модуль <i>Decide</i> . Этот модуль позволяет читать и принимать решения в модели.
	модуль <i>Batch</i> . Этот модуль отвечает за механизм группировки в имитационной модели.
	модуль <i>Record</i> . Модуль предназначен для сбора статистики в имитационной модели.
	модуль <i>Dispose</i> . Этот модуль является выходной точкой из имитационной модели.

Модули помещаются в окно рабочего модуля методом «drag & drop», соединяются с помощью коннектора.

2. Построим простую имитационную модель на примере работы рабочей станции. Время поступления запросов в систему экспоненциально распределено со средним значением 30 минут, число запросов не ограничено, в случае занятости обслуживающегося устройства запрос встает в очередь. Время обслуживания запросов экспоненциально распределено со средним значением 24 минуты.

3. Переместите модули **Create**, **Process** и **Dispose** в окно рабочего модуля, как это показано на рис. 1.2.

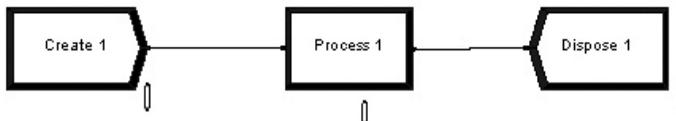


Рис. 1.2. Имитационная модель работы рабочей станции

4. Для задания свойств графическому модулю необходимо дважды щелкнуть по нему и в диалоге задать значения параметров (рис. 1.3).

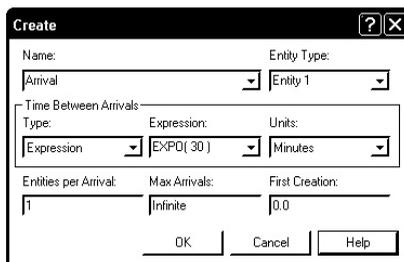


Рис. 1.3. Диалоговое окно свойств модуля Create

### Параметры модуля Create

- *Name* – имя элемента.
- *Entity type* – тип объекта (документы, товары, клиенты и т.д.).
- *Time between arrivals* – время между объектами в потоке. Эта опция имеет несколько подопций, таких как:
  - *Units* – единицы измерения времени (секунды, минуты, часы, дни);
  - *Type* – тип временных промежутков, он может быть:
    - *Constant* (постоянный);
    - *Random* (случайный по экспоненциальному закону);
    - *Expression* (выраженный каким-либо видом распределения: нормальное, пуассоновское, логнормальное и т.д.)
  - *Max Arrivals* (Максимальный размер потока).

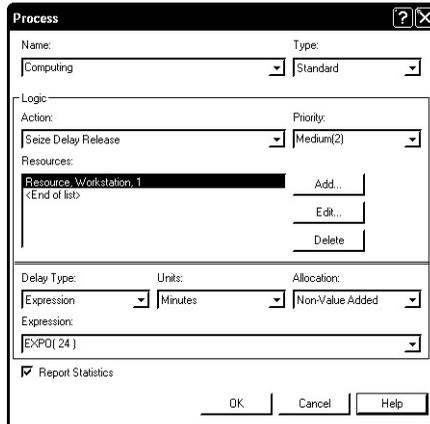


Рис. 1.4. Диалоговое окно свойств модуля Process

Поле Resources определяет ресурсы или группы ресурсов, которые будут обрабатывать сущности в этом модуле. Добавление ресурса кнопкой Add, в появившемся окне (рис. 1.5) указать использование одного ресурса.

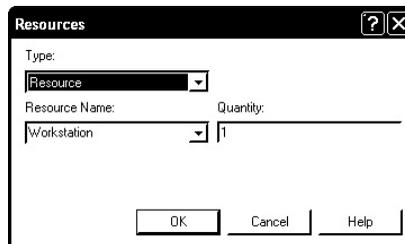


Рис. 1.5. Диалоговое окно задания ресурсов в модуле Process

### Параметры модуля Process

- *Name* – Имя
- *Logic* – Параметр управления каналами содержащий в себе следующие опции:
  - *Action* – Тип действия совершаемого над элементами потока).
    - Delay.
    - Seize Delay.
    - Seize Delay Release.
  - *Delay Release*.
    - Resources (ресурсы: продавцы, консультанты, конвейеры и т.д.)

- *Delay Type* – опция, аналогичная опции «*Time Between Arrivals*» в элементе «*Create*».

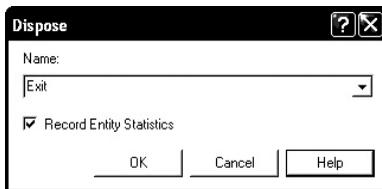


Рис. 1.6. Диалоговое окно свойств модуля Dispose

### Параметры модуля Dispose

- Name – Уникальное имя модуля.
- Record Entity Statistics – Определяет, будет ли вестись статистика о выходе сущности из системы.

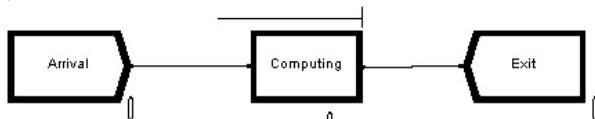


Рис. 1.7. Имитационная модель работы рабочей станции

**Пример.** В качестве примера приведена имитационная модель ТО маслоагрегата MA-18 двигателя Д-18 (рис. 1.8 – 1.10), построенная на основе IDEF3 и DFD моделей.



Рис. 1.8. Верхний уровень имитационной модели технического обслуживания маслонасоса MA-18

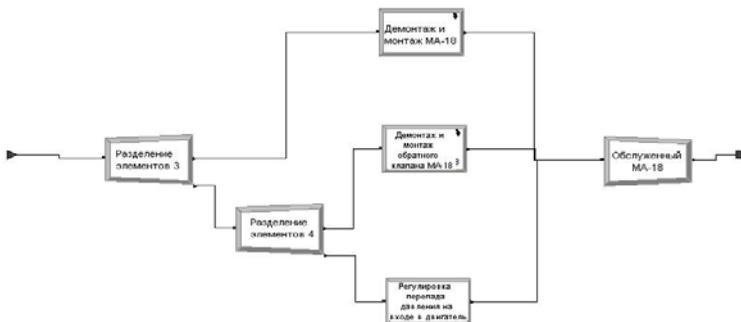


Рис. 1.9. Подуровень имитационной модели технического обслуживания маслонасоса MA-18



Рис. 1.10. Имитационная модель процесса технического обслуживания обратного клапана маслонасоса

По результатам имитационного моделирования проведен анализ производственного процесса ТО маслонасоса МА-18. Получены временные характеристики производственного процесса в зависимости от наличия свободных ресурсов и возникающих ситуаций входе ТО.

На рис. 1.11 представлен результат расчета времени затрат на ТО одного изделия. Для получения устойчивой статистики проведены расчеты временных затрат на ТО 1000 изделий, результаты расчета показаны на рис. 1.12.

### Время выполнения операций

Общее время на каждый объект	Средняя величина	Минимальное значение	Максимальное значение
Демонтаж и монтаж МА-18	1.3595	1.2912	1.4463
Демонтаж и монтаж обратного клапана МА-18	0.6955	0.6546	0.7423
Демонтаж МА-18	0.6336	0.6002	0.6626
Демонтаж обратного клапана	0.3088	0.2843	0.3325
Монтаж МА-18	0.7260	0.6627	0.7965
Монтаж обратного клапана	0.3867	0.3547	0.4226
Регулировка перепада давления на входе в двигатель	0.2142	0.2036	0.2240
ТО маслоагрегата МА-18	2.2855	2.1494	2.4216

Рис. 1.11 Временные затраты на каждую операцию при обслуживании одного изделия

Из рис. 1.11 и 1.12 можно определить на какую операцию по ТО маслоагрегата затрачивается наибольшее количество времени и, проанализировав ее, можно предложить мероприятия по сокращению её продолжительности, с учетом сохранений требований по обеспечению безопасности полетов.

## ТО маслоагрегата

Повторение 1 Единица времени: Часы

## Процесс

### Сумарное время

	Величина
Демонтаж и монтаж МА-18	1358.14
Демонтаж и монтаж обратного клапана МА-18	695.46
Демонтаж МА-18	633.55
Демонтаж обратного клапана	308.79
Монтаж МА-18	725.23
Монтаж обратного клапана	386.67
Регулировка перепада давления на входе в двигатель	214.23
ТО маслоагрегата МА-18	2265.74

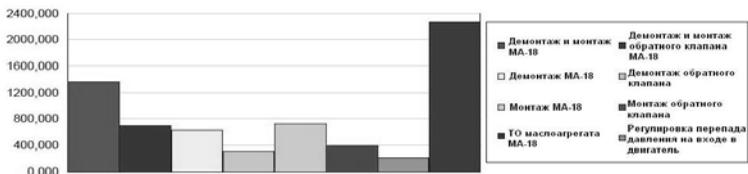


Рис. 1.12. Расчет временных характеристик по имитационной модели

**Задание.** Смоделировать работу системы технического обслуживания воздушного судна по указанию преподавателя.

### Контрольные вопросы

1. В чем особенность имитационного моделирования?
2. Какова основная цель имитационного моделирования?
3. Назовите основные части простой имитационной модели СМО в пакете Arena?
4. Какие возможности предоставляет пакет Arena для проектирования имитационных моделей?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ЭКСПОРТ ДИАГРАММЫ IDEF3 В ARENA

**Целью работы** является освоение технологии построения диаграммы IDEF3 с последующим ее экспортом в **Arena**, а также проведение сравнительного анализа результатов имитационного моделирования и аналитического решения.

### Теоретические сведения

Эффект от создания имитационных моделей увеличивается благодаря предварительному анализу бизнес-процессов. Таким образом, функциональные модели и имитационные модели дополняют друг друга, при этом они могут быть тесно взаимосвязаны. Имитационная модель дает больше информации для анализа системы, в свою очередь результаты такого анализа могут стать причиной модификации модели процессов. Наиболее целесообразно сначала создать функциональную модель, а затем на ее основе строить модель имитационную. Для поддержки такой технологии инструментальное средство функционального моделирования **BPwin** имеет возможность экспорта диаграммы IDEF3 в имитационную модель **Arena**.

### Пример

#### 1. Построение модели IDEF3.

1.1. Запустите программу **BPwin**, выбрав **Программы/ Computer Associates BPwin/BPwin**. В появившемся окне укажите имя файла и тип диаграммы **Process Flow (IDEF3)** (рис. 2.1).

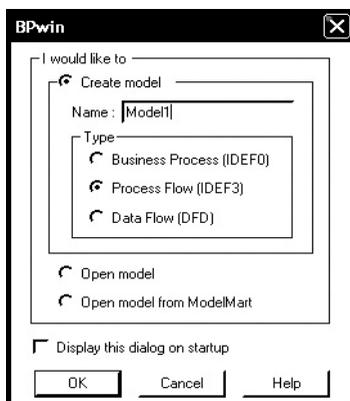


Рис. 2.1. Диалоговое окно при создании новой диаграммы

1.2. Рассмотрим пример построения IDEF3 модели «Диагностика автомобилей» для дальнейшего экспорта в Arena (рис. 2.2). При построении процессной модели используются ряд особенностей. Для задания начальных и конечных блоков процессной модели используется **Referent tool**.

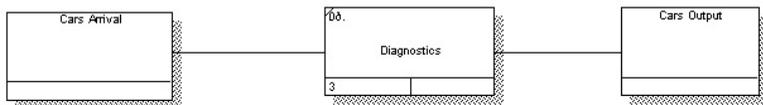


Рис. 2.2. Процессная модель «Диагностика автомобилей»

Названия блоков указываются на английском языке или транслитом, т.к. Arena не распознает кириллицу.

1.3. Стрелки от начальных и к конечным блокам задаются в стиле Referent (рис. 2.3).

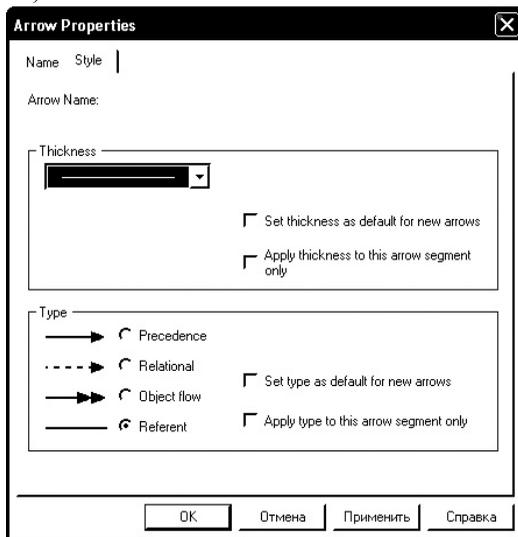


Рис. 2.3. Свойства стрелки (Arrow Properties)

1.4. Поскольку имитационная модель Arena должна содержать дополнительные параметры по сравнению с моделью IDEF3, в BPwin используются свойства **User-Defined Properties (UDP)**, импорт которых предварительно осуществляется из файла ArenaBEUDPs.bp1. Для этого необходимо открыть модель **Program Files / Computer Associates / BPwin / Samples / Arena / Arena18 BEUDPs.bp1** и, находясь в только что созданной модели с примером «Диагностика автомобилей»,

импортировать настройки командой **Model/Merge Model Dictionaries/** (рис. 2.5).

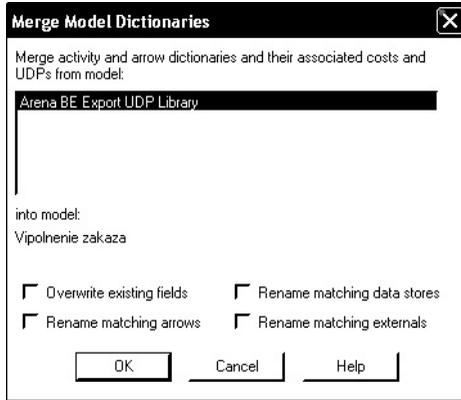


Рис. 2.4. Диалоговое окно Merge Model Properties

В результате в новой модели появятся следующие UDP настройки (**Dictionary/UDP/**) (рис. 2.5).

Name	UDP Datatype	Value	Keyword
Arena_?_AttributeName	Text		Arena_Decide
Arena_?_ConditionEvaluator	Text List (Single selection)	< <= <> == > >=	Arena_Decide Arena
Arena_?_ConditionType	Text List (Single selection)	Attribute Entity Type Expression Variable	Arena_Decide Arena
Arena_?_ConditionValue	Text		Arena_Decide
Arena_?_EntityName	Text		Arena_Decide
Arena_?_PercentTrue	Text		Arena_Decide
Arena_?_Type	Text List (Single selection)	By Chance By Condition	Arena_Decide Arena

Рис. 2.5. Словарь импортированных UDP настроек

1.5. Устанавливаем UDP настройки для каждого блока. Блок **Cars Arrival**, диалоговое окно которого показано на рис. 2.6, в динамической модели будет использоваться для генерирования приезда автомобилей на диагностику. Укажем, что интервалы времени между поступлением деталей имеют пуассоновское распределение со средним значением 1 час, что обозначается как POIS (1).

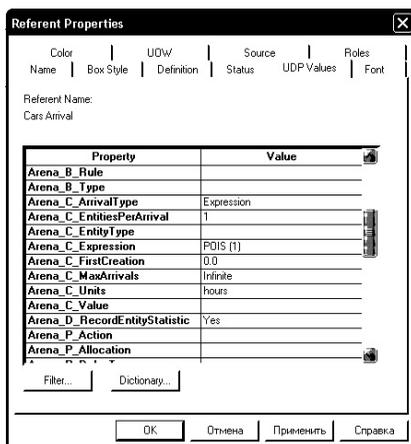


Рис. 2.6. UDP свойства блока Cars Arrival

Блок **Cars Arrival** соединяется с блоком **Diagnostics** (рис. 2.7), в котором происходит процесс диагностики автомобилей. Продолжительность диагностики экспоненциально распределена со средним значением 0,7 часа.

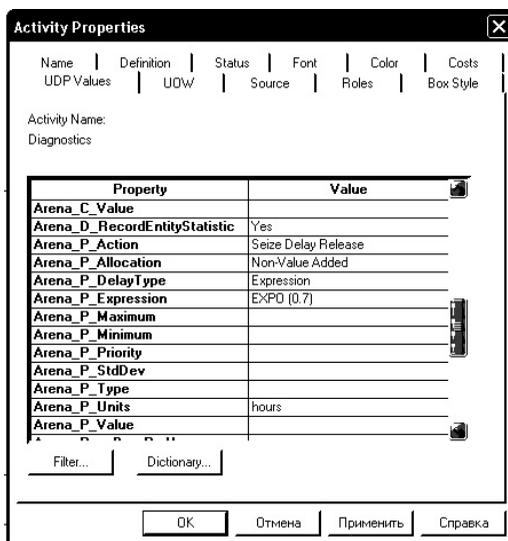


Рис. 2.7. UDP свойства блока Diagnostics

В конечном блоке **Cars Output** указывается только галочка о сборе статистики (рис. 2.8).

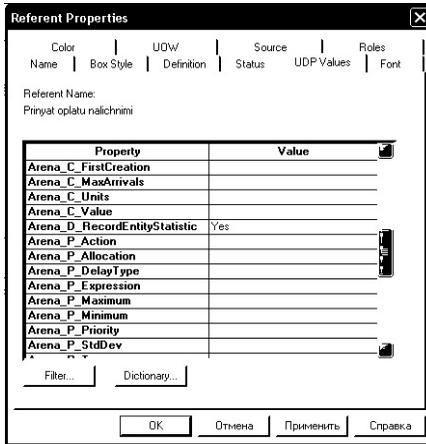


Рис. 2.8. UDP-свойства блока Cars Output

1.6. После указания UDP на каждом блоке появляется скрепка (рис. 2.9).

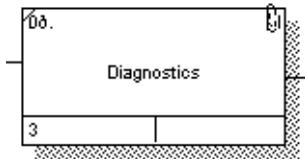


Рис. 2.9. Блок Diagnostics с установленными UDP

1.7. Для успешного проигрывания модели необходимо добавить ресурс (люди, оборудование), который проводит диагностику. Ресурс задается при помощи стрелки «механизм», присоединенной к нижней стороне блока работы. Стрелка имеет стиль *Relational* (рис. 2.10).

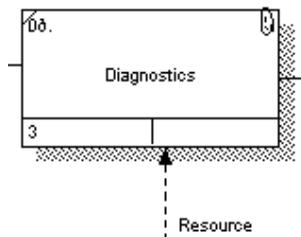


Рис. 2.10. Блок Diagnostics со стрелкой Resource

После задания имени стрелки появляется возможность указания ее дополнительных свойств. На вкладке *UDP Values* вписывается название ресурса и его количество. В нашем примере: ресурс – один мастер по диагностике (рис. 2.11).

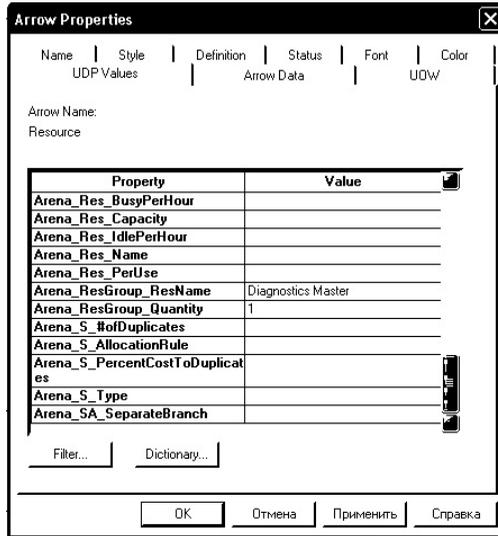


Рис. 2.11. Модель «Диагностика автомобилей» в IDEF3

Мастер может проводить диагностику только одного автомобиля в каждый момент времени; если мастер занят, автомобили встанут в очередь и ждут, пока он освободится.

1.8. Перед экспортом в Arena модель в IDEF3 примет вид (рис. 2.12).

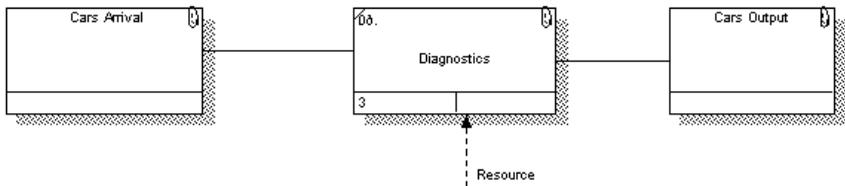


Рис. 2.12. Модель «Диагностика автомобилей» в IDEF3

## 2. Экспорт в Arena

2.1. Экспорт модели в Arena осуществляется командой **File/Export/Arena**. При завершении экспорта выводится сообщение (рис. 2.13).



Рис. 2.13. Диалог о завершении экспорта в Arena

В результате экспорта получаем модель в пакете Arena (рис. 2.14).

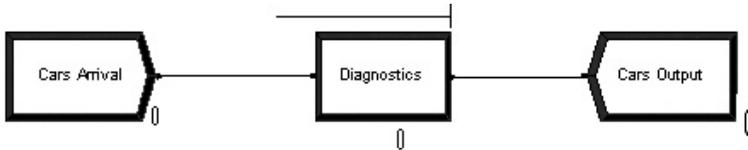


Рис. 2.14. Имитационная модель в пакете Arena

2.2. Откройте окно параметров моделирования командой **Run/Setup**. Установите длительность моделирования, равную 100 ч.

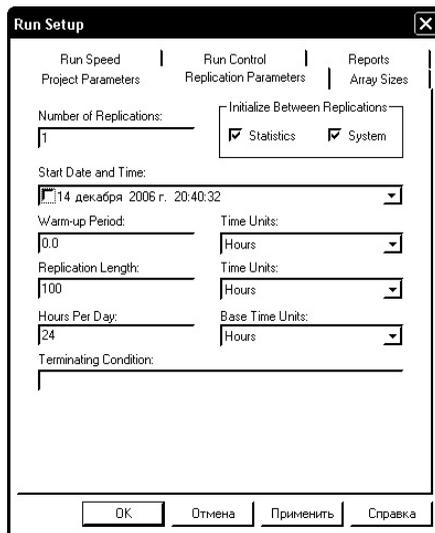


Рис. 2.15. Окно установки параметров моделирования

2.3. Теперь все готово для моделирования. Команда Run/Go. Результаты моделирования указаны в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Результаты моделирования модели

Характеристика	Где найти	Значение
Средняя продолжительность пребывания машин в системе	Панель слева – <b>Preview</b> Entity – Time – Total Time (Average) <input type="text" value="Total Time"/> <i>Average</i> Entity 1 2.9578	2,96 часа
Среднее число машин в очереди	Queue – Other – Number Waiting (Average) <input type="text" value="Number Waiting"/> <i>Average</i> Diagnostics.Queue 2.0242	2,02 машины
Средняя продолжительность пребывания машин в очереди	Queue – Time – Waiting Time (Average) <input type="text" value="Waiting Time"/> <i>Average</i> Diagnostics.Queue 2.1085	2,1 часа
Среднее число машин на диагностике	Resource – Usage – Number Busy (Average) <input type="text" value="Number Busy"/> <i>Average</i> Diagnostics Master 0.7858	0,78 машин
Среднее число машин в системе	Среднее число запросов в очереди + среднее число запросов на обработке	2,02 + 0,78 =2,8 машин

### 3. Сравнительный анализ результатов имитационного моделирования и аналитического решения

3.1. Представим задачу по диагностике автомобилей в терминах теории СМО. СМО имеет один канал обслуживания (мастер по диагностике). Входящий поток машин на обслуживание – простейший пуассоновский поток с интенсивностью  $\lambda = 1$ . Длительность обслуживания – случайная величина, подчиненная показательному закону распределения со средним значением 0,7 часа. Рассчитаем характеристики одноканальной СМО с ожиданием, без ограничения на длину очереди:

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1}{1,4286} = 0,6999.$$

$\Psi = 0,6999 < 1$ , т.е. условие стационарности СМО выполняется.

Среднее число машин в системе:

$$L_s = \frac{\Psi}{1 - \Psi} = \frac{0,6999}{0,3001} = 2,33.$$

Средняя продолжительность пребывания машин в системе:

$$W_s = \frac{1}{\mu(1 - \Psi)} = \frac{1}{1,4286(1 - 0,6999)} = 2,33.$$

Среднее число машин в очереди:

$$L_q = \frac{\Psi^2}{1 - \Psi} = \frac{0,6999^2}{1 - 0,6999} = 1,63.$$

Средняя продолжительность пребывания машин в очереди:

$$W_q = \frac{\Psi}{\mu(1 - \Psi)} = \frac{0,6999}{1,4286(1 - 0,6999)} = 1,63.$$

3.2. Сравним полученные результаты аналитического решения с результатами имитационного моделирования.

Таблица 2.2. Сравнительный анализ

Показатели	Результаты имитационного моделирования				Результаты аналитического решения
	100 ч	300 ч	1000 ч	1500 ч	
1. Среднее число машин на обслуживание в системе	2,8	2,76	2,4	2,3	<b><math>L_s = 2,33</math></b>
2. Средн. продолжительность пребывания машин	2,96	2,7	2,4	2,31	<b><math>W_s = 2,33</math></b>
3. Среднее число машин в очереди на обслуживании	2,02	2,03	1,74	1,66	<b><math>L_q = 1,63</math></b>
4. Средняя продолжительность пребывания машин в очереди	2,1	1,98	1,71	1,63	<b><math>W_q = 1,63</math></b>

Как видно из таблицы, результаты имитационного моделирования приближаются к результатам аналитического решения по мере увеличения длительности моделирования.

### **Контрольные вопросы**

1. Каков эффект от использования функциональных и имитационных моделей при изучении бизнес-процесса?
2. Какие особенности используются при построении диаграммы IDEF3 для последующего экспорта в **Arena**?
3. Что такое стационарная СМО?
4. Какие основные характеристики системы рассматривает теория СМО?

### **Список используемых источников**

1. Маклаков С.В. Создание информационных систем с AllFusionModeling Suite. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2005. – 432 с.
2. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование.– СПб.: Питер, 2004. – 847 с.
3. Вентцель А.Д. Исследование операций: Задачи, принципы, методология.– М.: Наука, 1988. – 206 с.
4. Kelton W.D., Sadowski R.P., Sadowski D.A. Simulation with Arena.McGraw-Hill, Boston, 2002. – 547 p.
5. Замятина О.М., Саночкина Н.Г. Система имитационного моделирования Arena 7.0. Basic Process Panel. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.
6. Замятина О.М., Саночкина Н.Г. Использование Advanced ProcessPanel и Advanced Transfer Panel в среде Arena 7.0 для моделирования и анализа сложных систем. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.
7. Arena Basic Edition User's Guide. Rockwell Software, 2004. – 82 p.
8. Arena User's Guide. Rockwell Software, 2004. – 142 p.