

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

А.А.Ицкович, А.Р.Алексамян, И.А.Файнбург

**УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ
И ПРОЦЕССАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

ПОСОБИЕ

**по проведению практических занятий
«Имитационное моделирование систем
и процессов эксплуатации авиационной техники»**

*для студентов I курса
направления 25.04.01 (магистры)
очной формы обучения*

Москва-2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра технической эксплуатации
летательных аппаратов и авиадвигателей**

А.А.Ицкович, А.Р.Алексамян, И.А.Файнбург

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

ПОСОБИЕ

**по проведению практических занятий
«Имитационное моделирование систем
и процессов эксплуатации авиационной техники»**

*для студентов I курса
направления 25.04.01 (магистры)
очной формы обучения*

Москва - 2016

ББК 056-082
И 96

Рецензент канд. техн. наук, доц. Найда В.А

Ицкович А.А., Алексанян А.Р., Файнбург И.А.

И 96 Управление системами и процессами эксплуатации авиационной техники: пособие по проведению практических занятий «Имитационное моделирование систем и процессов эксплуатации авиационной техники».- М.: МГТУ ГА, 2016. – 32 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Управление системами и процессами эксплуатации авиационной техники» по Учебному плану для студентов I курса направления 25.04.01 (магистратура) очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 29.03.2016 г. и методического совета 30.03.2016 г.

Подписано в печать 12.04.2016 г.

Печать офсетная	Формат 60x84/16	1,57 уч.-изд. л.
1,86 усл.печ.л.	Заказ № 64	Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20
Редакционно-издательские услуги ООО «Имидж-студия Арина»
127051 Москва, М. Сухаревская пл., д. 2/4 стр.1

1. Общие положения

1.1. Целью проведения практического занятия является овладение навыками и знаниями по имитационному моделированию систем и процессов массового обслуживания в пакете ARENA 12 [1, 5], предназначенных для описания систем и процессов эксплуатации (СиПЭ) авиационной техники (АТ), отражающих их вероятностно-статистические характеристики. Практические занятия включают построение имитационных моделей процессов технической эксплуатации (ПТЭ) АТ как замкнутой системы массового обслуживания (СМО).

1.2. Пособие по практическим занятиям содержит название темы и цель работы, необходимые теоретические сведения по теме, методические указания по выполнению практического занятия. В пособии предусмотрены варианты исходных данных, полученные в результате эксплуатационных наблюдений в авиапредприятиях гражданской авиации (ГА).

Выбор варианта исходных данных осуществляется студентом по последней цифре его зачетной книжки, кроме того преподаватель может выдать студентам дополнительные варианты заданий.

1.3. По результатам выполнения практического занятия студент составляет отчет. Отчет должен содержать тему и цель работы, исходные данные выполненного варианта, построенную модель, результаты моделирования, выводы. Отчет подписывается студентом.

2. Характеристика практических занятий

Тема: Построение имитационных моделей ПТЭ АТ, отражающих их вероятностно-статистические характеристики.

Цель: Овладение навыками и знаниями по созданию имитационных моделей ПТЭ АТ, отражающих их вероятностно-статистические характеристики.

2.1. Объект практического занятия.

Объектом практического занятия являются имитационные модели ПТЭ АТ.

2.2. Техническое задание

1) изучение основных теоретических сведений (п. 2.3), в том числе основных понятий, терминов и определений (п. 2.3.1), методологии имитационного моделирования (п. 2.3.2), а также содержание программного продукта ARENA 12 по имитационному моделированию (п.3).

2) выбор варианта исходных данных по последней цифре шифра студента (Приложение);

3) разработка имитационной модели ПТЭ АТ с помощью программного продукта ARENA 12 (п. 4):

- постановка задачи имитационного моделирования ПТЭ АТ;
- построение имитационной модели ПТЭ АТ;
- имитационное моделирование ПТЭ АТ;
- интерпретация результатов имитационного моделирования ПТЭ АТ.

Работа выполняется в соответствии с методическими рекомендациями, приведенными в п.4.

2.3. Основные теоретические сведения

2.3.1. Основные понятия, термины и определения

А. Системы и процессы эксплуатации АТ [2, 3]

В теории технических систем различают *системы типа “объект”*, элементами которого являются предметы (например, система эксплуатации, система технической эксплуатации, система технического обслуживания и ремонта), и *системы типа “процесс”*, элементами которого являются операции (например, процессы эксплуатации, процессы технической эксплуатации, процессы технического обслуживания и ремонта). При этом *системой называется* совокупность, образованная (и упорядоченная) по определенным правилам на конечном множестве элементов, между которыми существуют определенные отношения.

Процесс означает, что что-то происходит, совершается, т.е. изменяется с течением времени. Различают *естественные процессы* (старение, изнашивание, возникновение коррозионных и усталостных повреждений) и *искусственные процессы*, организуемые человеком с целью осуществления желаемых изменений.

Техническим процессом названы такие преобразования, в которых роль операторов выполняют, наряду с людьми, технические системы.

Процессы эксплуатации включают: процессы летной эксплуатации, процессы коммерческой эксплуатации, процессы технической эксплуатации (ПТЭ) АТ, процессы аэродромной эксплуатации и процессы управления воздушным движением. ПТЭ АТ подразделяются на процессы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), процессы инженерно-авиационного обеспечения.

ПТЭ АТ рассматривается как последовательная во времени смена состояний в соответствии с принятой стратегией. К состояниям эксплуатации относятся: использование по назначению, различные виды ТОиР, диагностирование, транспортирование, хранение, ожидание перехода в каждое из этих состояний и др.

Стратегия технической эксплуатации является совокупностью правил, обеспечивающих заданное управление ПТЭ АТ путем поддержания эффективных режимов использования АТ и назначения профилактических и ремонтных работ в соответствии с техническим состоянием АТ. Объектом управления является ПТЭ АТ парка ВС соответствующего уровня: отрасли, региона, предприятия; условия управления реализуются через установление входных управляющих воздействий и выходных параметров, назначение методов управления с учетом влияния внешних и внутренних факторов.

Управляемым ПТЭ АТ называется любая деятельность по технической эксплуатации (ТЭ), использующая ресурсы и управляемая для обеспечения способности превращать входящие элементы в выходящие. Часто выходящие элементы одного процесса напрямую образуют входящие элементы следующего процесса, а деятельность по ТЭ охватывает комплекс мер, посредством которых обеспечивается соответствие всей АТ действующим требованиям лётной годности и их поддержание в состоянии, необходимом для безопасной эксплуа-

тации на протяжении эксплуатационного срока службы.

Совокупность взаимосвязанных управляемых ПТЭ АТ образует последовательную во времени смену состояний эксплуатации в соответствии с принятой стратегией.

Главной целью системы технической эксплуатации АТ является полное и своевременное удовлетворение потребностей авиационно-транспортной системы в исправных ВС, обеспечение безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования по назначению при минимальных затратах времени, труда и средств на ТОиР АТ.

Б. Имитационное моделирование СиПЭ АТ. Системы массового обслуживания [1, 4, 6]

Имитационное моделирование СиПЭ АТ – метод исследования, при котором изучаемые *СиПЭ АТ* заменяются моделью, с достаточной точностью описывающей реальный процесс, с которой проводятся эксперименты с целью получения количественной оценки вероятностно–статистических характеристик функциональных моделей. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).

Для построения имитационной модели ПТЭ используется математический аппарат системы массового обслуживания (СМО) [4, 6].

Система массового обслуживания [serving system] — совокупность каналов обслуживания (станций, приборов), на которые в случайные или неслучайные моменты времени поступают заявки на обслуживание (требования), подлежащие удовлетворению.

По числу каналов СМО подразделяют на *одноканальные* и *многоканальные*.

Заявки поступают в СМО обычно не регулярно, а случайно, образуя так называемый *случайный поток заявок (требований)*. Обслуживание заявок продолжается случайное время. Случайный характер потока заявок и времени обслуживания приводит к тому, что СМО оказывается загруженной неравномерно: в какие-то периоды времени скапливается очень большое количество заявок (они либо становятся в очередь, либо покидают СМО необслуженными), в другие же периоды СМО работает с недогрузкой или простаивает.

Предметом теории массового обслуживания является построение математических моделей, связывающих заданные условия работы СМО (число каналов, их производительность, характер потока заявок и т.п.) с показателями эффективности СМО, описывающими ее способность справляться с потоком заявок.

В качестве *показателей эффективности СМО* используются: среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени; среднее число заявок в очереди; среднее время ожидания обслуживания; вероятность отказа в обслуживании без ожидания; вероятность того, что число заявок в очереди превысит определенное значение и т.п.

СМО делят на два основных типа (класса): *СМО с отказами* и *СМО с ожиданием (очередью)*.

В СМО с отказами заявка, поступившая в момент, когда все каналы заняты, получает отказ, покидает СМО и в дальнейшем процессе обслуживания не участвует (например, заявка на телефонный разговор в момент, когда все каналы заняты, получает отказ и покидает СМО необслуженной).

В СМО с ожиданием заявка, пришедшая в момент, когда все каналы заняты, не уходит, а становится в очередь на обслуживание.

СМО с ожиданием подразделяются на разные виды в зависимости от того, как организована очередь: с ограниченной или неограниченной длиной очереди, с ограниченным временем ожидания и т.п.

Для классификации СМО важное значение имеет *дисциплина обслуживания*, определяющая порядок выбора заявок из числа поступивших и порядок распределения их между свободными каналами. По этому признаку обслуживание заявки может быть организовано по принципу "первая пришла — первая обслужена", "последняя пришла — первая обслужена" (такой порядок может применяться, например, при извлечении для обслуживания изделий со склада, ибо последние из них оказываются часто более доступными) или обслуживание с приоритетом (когда в первую очередь обслуживаются наиболее важные заявки). Приоритет может быть как *абсолютным*, когда более важная заявка "вытесняет" из-под обслуживания обычную заявку (например, в случае аварийной ситуации плановые работы ремонтных бригад прерываются до ликвидации аварии), так и *относительным*, когда более важная заявка получает лишь "лучшее" место в очереди.

СМО, в которых интенсивность потока заявок зависит от состояния СМО, а сами источники заявок являются внутренними элементами СМО, называются замкнутыми.

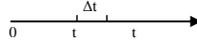
Исходные данные для анализа: параметры распределения входящих и исходящих потоков, а также характеристики самой СМО, например, среднее время обслуживания. В результате моделирования определяют такие характеристики СМО, как среднее число заявок в системе, средняя продолжительность пребывания заявок в системе, среднее число заявок в очереди, средняя продолжительность пребывания заявок в очереди, средняя длина очереди и т.д. Такие модели исследуют двумя методами, дающими близкие результаты.

Для стационарного пуассоновского потока могут применяться аналитические методы теории СМО, позволяющие выполнять вероятностные расчёты и вычислять теоретические значения характеристик СМО. Стационарный пуассоновский поток событий обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствия.

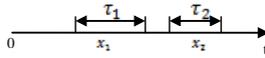
Поток событий является стационарным, если вероятность попадания события на интервал времени зависит только от величины интервала и не зависит от расположения этого интервала на оси времени.

Поток событий является ординарным, если вероятность того, что на малый участок Δt , примыкающий к моменту времени t , попадает больше одного

события пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью того, что на этот же интервал времени попадает ровно одно событие (поток самолётов, поступающих на регламентные работы).



Поток считается потоком без последействия, если для любых двух неперекрывающихся участков τ_1 и τ_2 число событий, попадающих на один из них, не зависит от того, сколько событий попало на другой.



Имитационное моделирование позволяет получить приблизительные оценки тех же параметров, причем с увеличением длительности моделирования они приближаются к теоретическим значениям.

3. Содержание программного продукта ARENA 12 по имитационному моделированию

Программный продукт ARENA 12 позволяет моделировать виды деятельности, представленные на рис. 3.1.

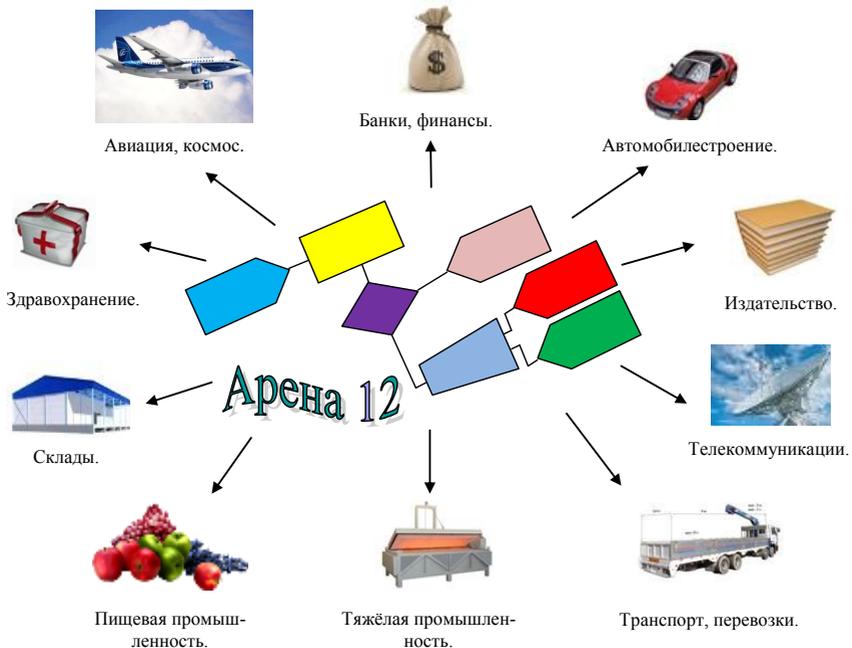


Рис 3.1. Области применения АРЕНА 12

С помощью ARENA 12 можно достигнуть основных целей моделирования сложных систем:

- понять, как устроен исследуемый объект: какова его структура, основные свойства, законы развития и взаимодействие с окружающей средой;
- выявить «узкие места» в материальных, информационных и других потоках;
- выделить переменные, наиболее важные для успешного функционирования моделируемой системы, и проанализировать имеющиеся между ними связи;
- научиться управлять системой, определять наилучшие способы управления при заданных целях и критериях;
- прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных форм и способов воздействия на систему.

Для того чтобы создать новую модель, необходимо открыть ПП ARENA 12 через Пуск. После запуска ARENA 12 автоматически открывается новый файл. Модули помещаются на панель методом «drag & drop» (перемещением), соединяются с помощью коннектора . Если модуль остается «горячим» (т. е. выделенным), то при помещении нового модуля на рабочую область (окно блок-схемы) эти модули автоматически соединяются друг с другом (рис. 3.2).

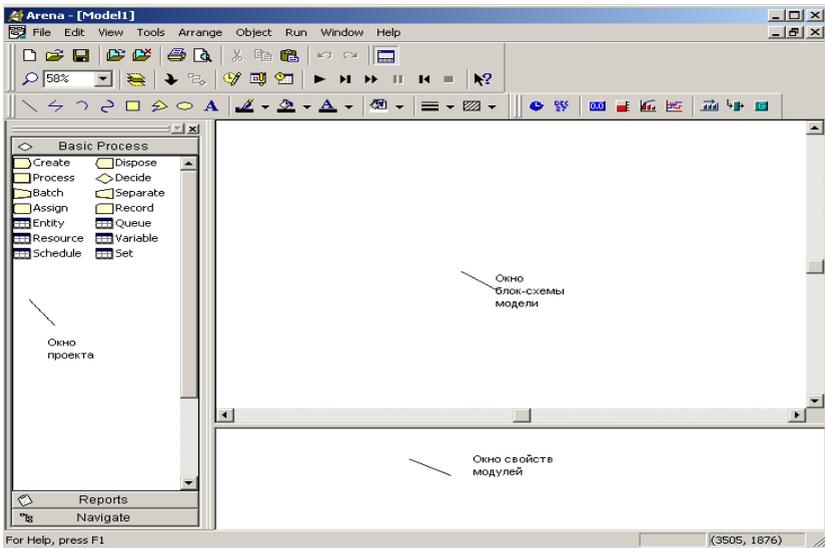


Рис. 3.2. Среда моделирования ARENA 12

Окно приложения разделено на три области:

1. *Окно рабочего поля модели*, в котором описывается логика модели с использованием схемных (графических) модулей. Представляет графику модели, включая блок-схему процесса, анимацию и другие элементы.
2. *Окно свойств модулей*, в котором отображаются свойства всех модулей (как модулей данных, так и схемных), имеющих и используемых в модели.
3. *Окно проекта* – это навигатор системы, в котором отображается рабочая панель со всеми модулями и другие доступные и открытые панели.

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. Рассмотрим описание основных модулей.

Графический модуль (**Create**). Диалоговое окно свойств модуля **Create**

Create

представлено на рис 3.3. Этот модуль является отправной точкой для сущностей в имитационной модели.

Сущности – это индивидуальные элементы, обрабатываемые в системе. Создание сущностей модулем происходит по расписанию или же, основываясь на значении времени между прибытиями сущности в модель. Покидая модуль, сущности начинают обрабатываться в системе. Тип создаваемых сущностей определяется в этом модуле.

Применение: прибытие различных документов в сфере бизнеса (например: заказы, чеки, документация); прибытие самолётов для посадки в район крупного аэропорта; начало изготовления продукции на производственной линии; прибытие самолётов на базу для прохождения регламентного обслуживания; обеспечение инженерно авиационного персонала запасными частями, материалами, оборудованием.

Для задания свойств графическому модулю необходимо дважды щелкнуть по нему и в диалоге задать значения параметров (табл. 3.1).

The screenshot shows the 'Create' dialog box with the following configuration:

- Name:** Arrival
- Entity Type:** Entity 1
- Time Between Arrivals (Время между поступлениями):**
 - Type: Expression
 - Expression: POIS (0.2)
 - Units: Days
- Entities per Arrival:** 1
- Max Arrivals:** Infinite
- First Creation:** 0.0

Рис. 3.3. Диалоговое окно свойств модуля Create

Параметры модуля Create

Параметры	Описание
1	2
Name	Уникальное имя модуля.
Entity Tape	Название типа сущности.
Type	Способ формирования потока прибытия. Type может иметь значение Random (экспоненциальное распределение с плотностью распределения $\rho(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ со средним значением, заданное в поле Value), Schedule (заданные расписанием длительности интервалов), Constant (постоянная длительность интервала) или Expression (поток прибытия будет формироваться по заданному распределению в поле Expression). Позволяет задать выражение для длительности интервала.
Value	Определяет среднее значение экспоненциального распределения (Random) или постоянное значение времени между прибытиями сущностей (если Type = Constant).
Schedule Name	Имя расписания, которое определяет характер прибытия сущности в систему.
Expression	Этот параметр задаёт тип распределения или выражение, определяющее время между прибытиями сущностей в модель. Основные виды распределений: EXPO (Mean) – экспоненциальное распределение со средним значением Mean; NORM (Mean, StdDev) – нормальное распределение со средним значением Mean и стандартным отклонением StdDev; POIS (Mean) – пуассоновское распределение со средним значением Mean.
Units	Единицы измерения времени между прибытиями (день, час, минута, секунда).
Entities per Arrival	Количество сущностей (транзактов) входящих в систему за одно прибытие.
Max Arrivals	Максимальное число сущностей, которое может создать этот модуль; если бесконечное число, указывается Infinite .
First Creation	Временный интервал между началом симуляции и самым первым поступлением.

Графический модуль (**Process**). Диалоговое окно свойств модуля **Process**

Process

представлено на рис 3.4. Этот модуль является основным модулем процесса обработки сущностей в имитационной модели.

В модуле имеются опции использования ресурсов, т. е., как и при любой обработке, захватываются какие-то ресурсы.

Также происходят следующие действия:

- задержка сущности (транзакта) на определённый временной интервал;
- захват транзактом ресурсов;
- освобождение транзактом ресурсов.

Process

Name: ▼

Type: ▼

Logic:

Action: ▼

Priority: ▼

Resources:

▼

Delay Type: ▼

Units: ▼

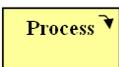
Allocation: ▼

Expression: ▼

Report Statistics

Рис. 3.4. Диалоговое окно свойств модуля Process

Если процесс предусматривает захват ресурсов, то перед процессом возникает очередь. В очереди стоят транзакты, ожидающие освобождения ресурсов. Кроме стандартного модуля Process, можно использовать подмодель, придавая ей особую, определенную пользователем, иерархическую логическую схему. В модуле можно также задавать добавочные стоимостные и временные характеристики процесса обработки сущности.



Наиболее частое применение модуля Process: проверка документов; выполнение заказов; обслуживание клиентов; обработка деталей, техническое обслуживание (ТО) ВС и т.д.

Для задания свойств графическому модулю необходимо дважды щелкнуть по нему и в диалоге задать значения параметров (табл. 3.2).

Параметры модуля Process

Параметры	Описание
1	2
Name	Уникальное имя модуля.
Type	Определяет логическую схему модуля. Standard означает, что логическая схема находится внутри модуля и зависит от параметра Action . Submodel показывает, что логическая схема будет находиться ниже в иерархической модели. Подмодель может содержать любое количество логических модулей.
Action	Тип обработки, происходящей внутри модуля, может быть четырех типов: Delay просто показывает, что процесс занимает какое-то время и не отражает использование ресурсов; Seize Delay указывает на то, что в этом модуле были размещены ресурсы и будет происходить их захват и задержка, ресурсы будут захватываться (т. е. будут заняты обработкой сущности), а их освобождение будет происходить позднее с помощью какого-то другого модуля; Seize Delay Release указывает на то, что ресурсы были захвачены, а затем (через время) освободились, и Delay Release означает, что ресурсы до этого были захвачены сущностью, а в таком модуле сущность задержится и освободит ресурс. Все эти параметры доступны только тогда, когда Type = Standard .
Priority	Значение приоритета модулей, использующих один и тот же ресурс где угодно в модели. Процесс с наивысшим приоритетом сможет захватить ресурс для транзакта первым. Приоритет задается любым натуральным числом, или выражением. Чем меньше число – тем выше приоритет. Это свойство не доступно, если Action = Delay (или Delay Release) или когда Type = Submodel .
Resources	Определяет ресурсы или группы ресурсов, которые будут обрабатывать сущности в этом модуле. Кнопками Add , Edit , Delete мы управляем этим списком.
Delay Type	Тип распределения или процедура, определяющая параметры задержки.
Units	Единицы измерения времени задержки (день, час, мин, сек).
Allocation	Определяет стоимостные характеристики обработки. Value Added – означает учитывать стоимостные характеристики, а Non-Value Added – не учитывать.
Minimum	Поле, определяющее минимальное значение для равномерного и треугольного распределения.
Maximum	Поле, определяющее максимальное значение для равномерного и треугольного распределения.
Value	Поле, определяющее среднее значение для нормального и треугольного распределения или значения для постоянной временной задержки.
Std Dev	Параметр, определяющий стандартное отклонение для распределения.

Продолжение таблицы 3.2.

1	2
Expression	Поле, в котором задается выражение, определяющее значение временной задержки, если Delay Type = Expression .
Report Statistics	Фиксировать статистику для данного процесса.

Также, на рис. 3.5. показана настройка диалогового окна добавления ресурсов, появляющегося при нажатии кнопки Add, относящейся к списку ресурсов.

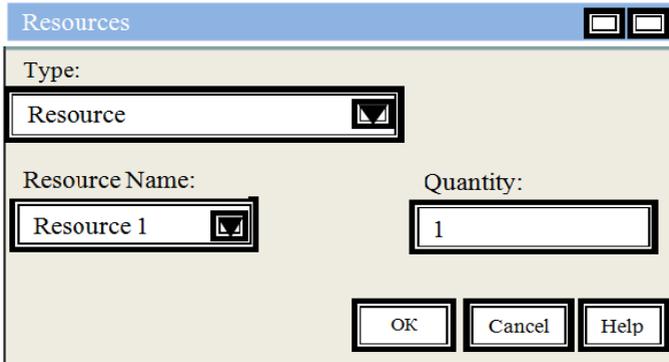


Рис.3.5. Диалоговое окно задания ресурсов в модуле Process

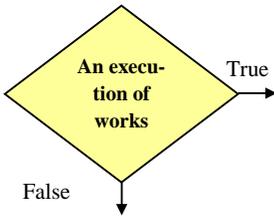
Параметры этого окна представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3.

Параметры окна задания ресурсов в модуле Process

Параметры	Описание
1	2
Type	Тип захватываемого ресурса. Resource — один вид ресурса, Set — набор ресурсов.
Resource Name	Имя ресурса.
Quantity	Количество захватываемых ресурсов.
Selection Rule	Правило выбора членов набора, если тип захватываемого ресурса — Set : Cyclical — поочередный циклический выбор ресурсов из набора; Random — случайный выбор одного из ресурсов набора (необязательно свободного); Preferred Order — выбор первого свободного ресурса; Specific Member — выбор элемента, индекс которого задается атрибутом, имя которого задано в поле Save Attribute ; Largest Remaining Capacity — захватывается ресурс, имеющий наибольшее число свободных элементов; Smallest Number Busy — захватывается ресурс, имеющий наименьшее число занятых элементов.
Save Attribute	Имя атрибута, который содержит индекс элемента набора, который будет захвачен.

Графический модуль (**Decide - ветвление**). Диалоговое окно свойств модуля **Decide** представлено на рис. 3.6., рис. 3.7., рис. 3.8. Этот модуль позволяет описать и задать логику модели, учитывая принятие решений. Он включает опции принятия решений, основанных на условии **By Condition** (например, если тип сущности **Car**) или основанных на вероятности **By Chance** (например, 75 % – true, а 25 % – false).



Условия могут быть основаны на значении атрибута **Attribute**, значении переменной **Variable**, типе сущности **Entity Type** или основанные на выражении **Expression**. Если поставленное условие выполняется, то сущности будут покидать модуль через ветку **True**, иначе – по ветке **False**.

Данный модуль позволяет выполнять проверку не только одного условия, но и нескольких. Это достигается с помощью свойства **Type**→**N-way by Chance/by Condition**. В зависимости от условия сущность идет по нужной ветке. Таким образом, по ветке **True** у модуля может быть любое количество выходов (по ветке **False** – всегда один выход).

Применение: разделение дел на срочные дела и несрочные; перенаправление недоделанных или сделанных неправильно работ на доработку; разделение работ на выполняемые или невыполняемые.

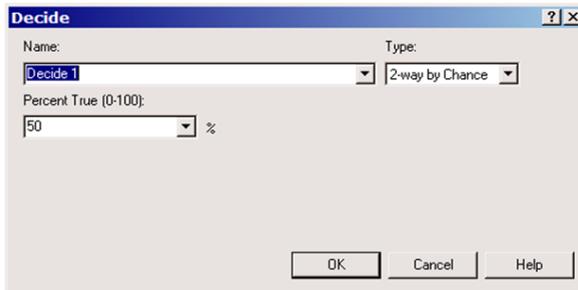


Рис. 3.6. Диалоговое окно (1) свойств модуля **Decide**

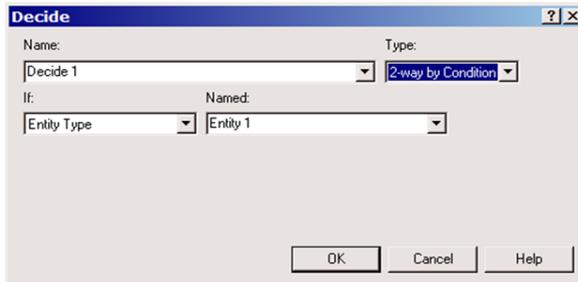


Рис. 3.7. Диалоговое окно (2) свойств модуля **Decide**

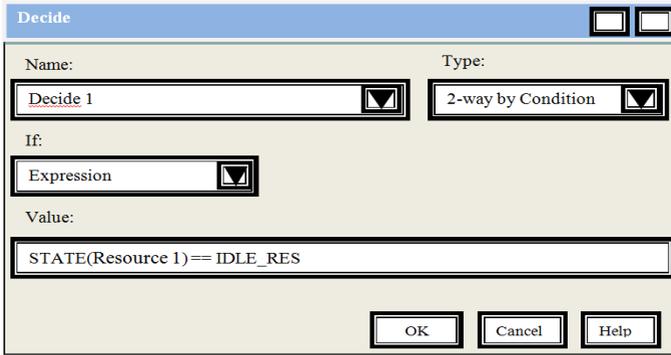


Рис. 3.8. Диалоговое окно (3) свойств модуля Decide

Для задания свойств графическому модулю необходимо дважды щелкнуть по нему и в диалоге задать значения параметров (табл. 3.4).

Таблица 3.4.

Параметры модуля Decide

Параметры	Описание
1	2
Name	Уникальное имя модуля, которое будет отражено в блок-схеме.
Type	Тип принятия решения: <i>By Chance</i> – выбор направления основывается на вероятности и <i>By Condition</i> – проверка на выполнение конкретно заданного условия.
Percent True	Значение, определяющее процент сущностей, который пойдет по направлению True .
If	Тип условия, которое будет проверяться на выполнение. Variable — переменная. Определяется в масштабах всей модели; Attribute — атрибут. Определяется в масштабах конкретного транзакта; Entity Type — тип сущности, к которой относится транзакт. Если тип сущности совпадает с указанным в поле Named, то условие считается выполненным; Expression — выполнение условия определяется выражением, записываемым в поле Expression .
Named	Имя переменной, атрибута или типа сущности, который будет проверяться при входе сущности в модуль.
Is	Математический знак условия, например больше, меньше, равно и т. д.
Value	Значение, с которым будет сравниваться атрибут или переменная пришедшей сущности. Если тип условия – Expression , то в выражении должен стоять знак условия, например Color<> Red .

Графический модуль (Dispose – утилизация сущности (транзакта)).

Dispose

Диалоговое окно свойств модуля **Dispose** представлено на рис.3.9. Этот модуль является выходной точкой из имитацион-

ной модели. Статистика о сущности может собираться до того момента, пока она не выйдет из системы.

Применение: окончание какого-либо процесса; клиенты покидают отдел; самолёты покидают ТО и т.д.

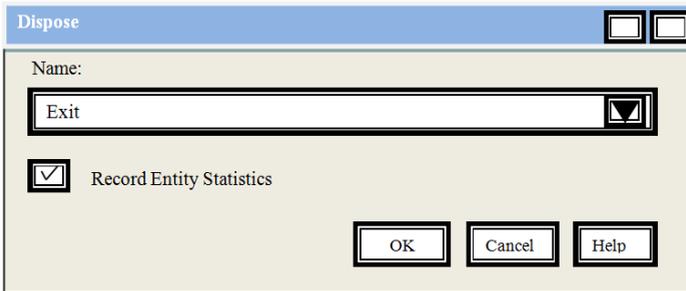


Рис.3.9. Диалоговое окно свойств модуля Dispose

Для задания свойств графическому модулю необходимо дважды щелкнуть по нему и в диалоге задать значения параметров (табл. 3.5).

Таблица 3.5.

Параметры модуля Dispose

Параметры	Описание
1	2
Name	Уникальное имя модуля, которое будет отражено в блок-схеме.
Record Entity Statistics	Определяет, будет ли вестись статистика о выходе сущности из системы.

Рассмотрим описание Модулей данных.



Все модули данных в навигаторе панелей имеют одинаковый вид, т. к. они не отображаются физически в блок-схеме модели, в связи с этим их изображение не приводится. Также мы не будем рассматривать стоимостные параметры модулей, т. к. они не влияют на логику модели.

Модуль (**Entity – сущности**). Этот модуль определяет тип сущности и ее анимационную картинку в имитационном процессе, также определяет стоимостную информацию. Для каждого источника должен быть определен тип сущности, который он генерирует.

Применение модуля **Entity**: документы (факсы, письма, отчеты и т. д.); люди. Параметры модуля данных **Entity** представим в табл. 3.6.

Таблица 3.6.

Параметры модулей данных Entity

Параметры	Описание
1	2
Entity Type	Название типа сущности.
Initial Picture	Графическое представление сущности в начале имитационного процесса. Просмотреть анимационные картинки можно так: Edit/ Entity picture .

Модуль (**Queue** – очереди). Этот модуль данных предназначен для изменения правила расстановки сущностей в очереди, т. е. задается правило обслуживания сущности в процессе. По умолчанию тип очереди **First in First out**.

Применение: стопка документов, ожидающих освобождения ресурса; место для собирания частей, ожидающих упаковки (группировки), воздушные суда, ожидающие освобождение ресурса для прохождения ТО, очередь покупателей у кассы в магазине и т.д. Параметры модуля данных **Queue** представим в табл. 3.7.

Таблица 3.7.

Параметры модулей данных Queue

Параметры	Описание
1	2
Name	Уникальное имя модуля, которое будет отражено в блок-схеме
Attribute Name	Имя атрибута, значение которого будет учитываться, если тип = Lowest Attribute Value или Highest Attribute Value
Type	Правило расстановки сущностей в очереди: <i>First in First out</i> – первый вошел, первый вышел; <i>Last in first out</i> – последний пришел, первый вышел; <i>Lowest Attribute Value</i> – первый выйдет из очереди тот, значение атрибута у которого низшее; <i>Highest Attribute Value</i> – первый выйдет из очереди тот, значение атрибута у которого наивысшее

Модуль (**Resource** – ресурсы). Этот модуль предназначен для определения ресурсов и их свойств в имитационном процессе; кроме того, модуль включает в себя стоимостную информацию о ресурсах и вместимость ресурсов. Ресурсы могут иметь фиксированную вместимость или же основанную на расписании. У ресурсов с фиксированной вместимостью в течение имитационного процесса вместимость изменяться не может. Ресурс должен быть связан с каким-либо процессом.

Применение: люди (авиационно-технический персонал, бухгалтеры, рабочие и т. д.); оборудование (телефонная линия, станок, компьютер). Параметры модуля данных **Resource** представим в табл. 3.8.

Модуль (**Schedule** – расписание). Этот модуль может использоваться вместе с модулем **Resource** для определения вместимости ресурса и с модулем **Create** – для задания расписания прибытия сущностей.

Применение: расписание работы персонала с перерывами на обед, и т.д. Параметры модуля данных **Schedule** представим в табл. 3.9.

Модуль (**Set** – набор). Этот модуль данных, который описывает группу ресурсов, использующихся в модуле **Process**. В группе могут находиться несколько ресурсов. Модуль **Set** автоматически создает ресурсы, вместимость которых по умолчанию равна 1, и без всякой стоимостной информации. Следовательно, если для ресурсов, входящих в группу, не нужно стоимостной информации и вместимость более 1, то можно обойтись созданием только модуля **Set**. Возможно применение модуля для организации работы группы работников, например по очереди.

Параметры модуля данных **Set** представим в табл. 3.10.

Таблица 3.8.

Параметры модуля данных **Resource**

Параметры	Описание
1	2
Name	Имя ресурса.
Type	Метод, определяющий вместимость ресурса. <i>Fixed Capacity</i> – фиксированная вместимость ресурса. <i>Based on Schedule</i> – вместимость ресурса определяется модулем Schedule .
Capacity	Число ресурсов, находящихся в системе.
Schedule Name	Имя Schedule модуля, который определяет вместимость ресурса, если Type = Based on Schedule
Busy / Hour	Почасовая стоимость обработки сущности ресурсом. Время учитывается только тогда, когда ресурс занят обработкой и прекращает учитываться, когда ресурс освобождается.
Idle / Hour	Стоимость ресурса, когда он не занят.
Per Use	Стоимость обработки ресурсом одной сущности (не зависит от времени).

Таблица 3.9.

Параметры модуля данных Schedule

Параметры	Описание
1	2
Name	Название расписания.
Type	Тип расписания, который может быть <i>Capacity</i> (расписание для ресурсов), <i>Arrival</i> (для модуля Create) или <i>Other</i> (разнообразные временные задержки или факторы).
Time Units	Масштаб оси времени в графике расписания.

Таблица 3.10.

Параметры модуля данных Set

Параметры	Описание
1	2
Name	Название группы
Members	Перечисляет ресурсы, входящие в группу. Порядок перечисления ресурсов важен, когда в модуле Process используется правило выбора Cyclical или Preferred Order .
Resource Name	Названия ресурсов, входящих в группу.

Модуль (**Variable** – переменные). Этот модуль данных определяет значение переменных. Переменные, относящиеся к модулю **Decide** или **Assign**, могут использоваться в выражениях. Если переменная не описана в этом модуле, то ее первоначальное значение равно 0. Применение: число документов обрабатываемых в час; присвоение серийного номера для идентификации продукции. Параметры модуля данных **Variable** представим в табл. 3.11.

Параметры модуля данных Variable

Параметры	Описание
1	2
Name	Имя переменной.
Initial Value	Первоначальное значение переменной.
Rows	Число строк в размерной переменной.
Columns	Число столбцов в размерной переменной.
Clear Option	<p>Определяет время, когда значение переменной сбрасывается в начальное значение.</p> <p><i>Statistics</i> – сбрасывает переменную в начальное значение в любой момент, когда статистика была расчищена.</p> <p><i>System</i> – сбрасывает переменную в начальное значение в любой момент, когда система была расчищена.</p> <p><i>None</i> – никогда не сбрасывает переменную в начальное значение, исключая предшествующую первой репликации.</p>
Statistics	Определяет, будет ли вестись статистика по этой переменной.

4. Методические рекомендации по имитационному моделированию ПТЭ АТ с помощью программного продукта ARENA 12

1. Алгоритм имитационного моделирования СиПЭ АТ (рис. 4.1) содержит следующие задачи [1]:

- 1) постановка задачи имитационного моделирования ПТЭ АТ;
- 2) формирование исходных данных для имитационного моделирования ПТЭ АТ;
- 3) разработка имитационной модели ПТЭ АТ с помощью программного продукта ARENA 12;
- 4) реализация имитационного моделирования с помощью программного продукта ARENA 12;
- 5) интерпретация результатов имитационного моделирования с помощью программного продукта ARENA 12;

2. Задача 1. Постановка задачи

В данном примере смоделируем простую СМО. Такой системе может соответствовать, например, классический пример оперативного обслуживания самолётов типа В-747 при транзитной стоянке в течение 30-45 мин в конечном аэропорту. В этом случае транзакты будут символизировать ВС, или, если выразиться в терминах инструментальной среды, все транзакты будут иметь тип сущности «**Aircraft**» (ВС); прибор будет символизировать аэропорт.

Для введения ограничения на число ВС, обслуживаемых в аэропорту одновременно, требуется ввести ресурс «**The ground maintenance personnel**» (Персонал наземного технического обслуживания).

Пусть пользование ресурсом осуществляется за плату, выражаемую в количестве денежных единиц, которое требуется заплатить за один час удержания ресурса.

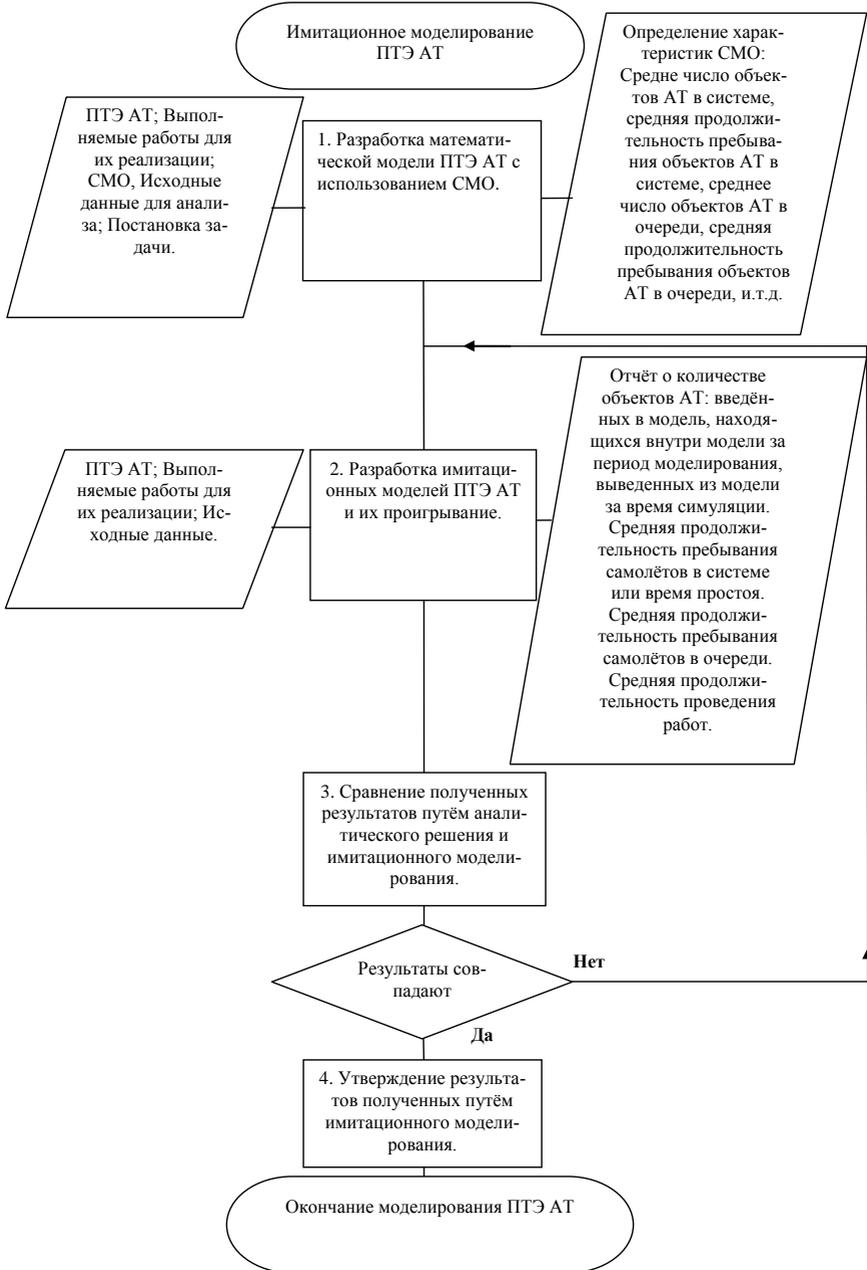


Рис. 4.1. Алгоритм имитационного моделирования ПТЭ АТ

3. Задача 2. Формирование исходных данных для имитационного моделирования ПТЭ АТ

Пусть самолеты, к примеру, поступают на оперативное ТО каждые 10 – 20 мин. Закон распределения интервала между появлениями ВС – равномерный (**Uniform**). Оперативное ТО проводится в течение 5÷24 мин персоналом наземного ТО (закон распределения принимаем также равномерным).

4. Задача 3. Разработка имитационной модели ПТЭ АТ с помощью программного продукта ARENA 12

Пример будет включать в себя три графических модуля – создание транзакта (**Create**), операция над ним (**Process**), и утилизация транзакта (**Dispose**).

Открываем ARENA 12, с вкладки **Basic Processes** панели проекта перетаскиваем графические модули **Create**, **Process**, **Dispose** на рабочее пространство. Если включена опция автоматического соединения модулей (**Object — Auto Connect**), то новый модуль будет соединён с выделенным. Ручное соединение модулей доступно в пункте меню **Object — Connect**.

Дважды щёлкаем мышкой на модуле **Create** и настраиваем его, как показано на рис. 4.2.

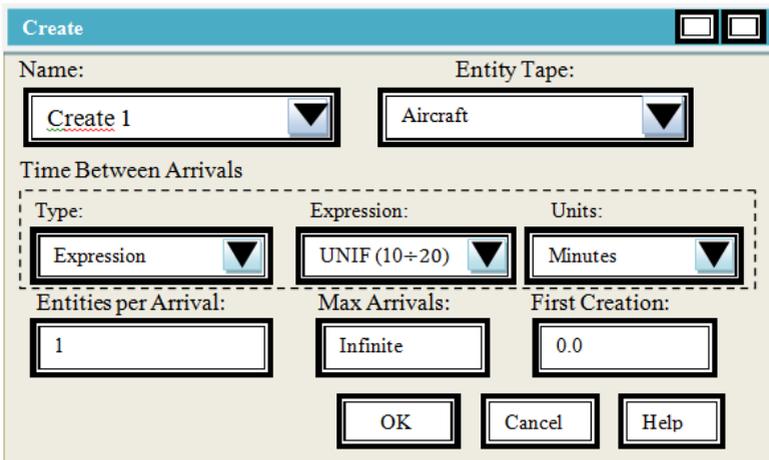


Рис. 4.2. Диалоговое окно свойств модуля Create

Для задания свойств графическому модулю **Process** необходимо дважды щелкнуть по нему и настроить модуль так, как показано на рис. 4.3. Время обслуживания будет добавляться в атрибут транзакта **Value Added Time** (по умолчанию).

Также представим настройку окна добавления ресурсов, появляющегося при нажатии кнопки **Add**, относящейся к списку ресурсов (рис. 4.4).

Введём стоимость за услуги ресурса. Количество группы, выполняющей эту работу, будем считать (**Capacity**) – 1.

Пусть час работы (**Busy/Hour**) стоит 100 денежных единиц. Открываем модуль данных **Resources** и настраиваем его в соответствии с рис. 4.5.

Process

Name: Process 1

Type: Standard

Logic:

Action: Seize Delay Release

Priority: Medium (2)

Resources:

Resources, The ground maintenance personnel
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Uniform

Units: Minutes

Allocation: Value Added

Minimum: 5

Maximum: 24

Report Statistics

OK Cancel Help

Рис. 4.3. Диалоговое окно свойств модуля Process

Resources

Type: Resource

Resource Name: The ground maintenance personnel

Quantity: 1

OK Cancel Help

Рис. 4.4. Диалоговое окно задания ресурсов в модуле Process

Resource – Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy/Hour	Idle/Hour	Per Use	State Set Name	Failures	Report Statistics
1	The gro	Fixed Capacity	1	100	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 4.5. Диалоговое окно свойств модуля данных Resources

Модуль **Dispose** не требует какой-либо дополнительной настройки (рис. 4.6).

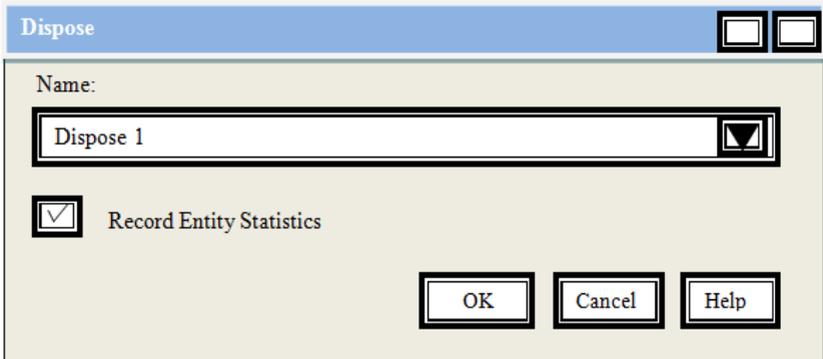


Рис. 4.6. Диалоговое окно свойств модуля Dispose

5. Задача 4. Реализация имитационного моделирования с помощью программного продукта ARENA 12

Перед запуском модели настроим некоторые её параметры. Выбираем пункт меню **Run — Setup**, далее вкладку «**Project Parameters**», в группе «**Statistics Collection**» установим флажки напротив полей **Costing, Queues, Entities, Processes, Resources**. Перейдём на вкладку «**Replication Parameters**», и в выпадающем списке «**Base Time Units**» выбираем минуты. Здесь же можно задать название решаемой задачи. Закроем окно нажатием кнопки ОК. Сохраним настроенные параметры.

Запускаем модель (команда **Go**, клавиша **F5**). Через некоторое время (например, после создания 40 транзактов) остановим симуляцию (команда **Pause**, клавиша **Esc**).

Отметим, что для того, чтобы симуляция останавливалась автоматически после создания определённого числа транзактов, можно ввести необходимое значение в поле **Max Arrivals** в окне настройки графического модуля **Create**.

6. Задача 5. Интерпретация результатов имитационного моделирования с помощью программного продукта ARENA 12

После проигрывания автоматически генерируются отчеты в формате **Crystal Reports**. Посмотреть их можно, нажав «Да» в появившемся диалоговом окне. На панели инструментов отчёта нажимаем кнопку **Preview** для отображения одноимённой вкладки в левой части окна. По умолчанию эта кнопка нажата.

Отчет о сущностях (Entity)

На панели Preview отображается иерархический список большинства отчетов, сгенерированных системой во время симуляции. Выбираем пункт «Project Name» — Entity — Time, чтобы посмотреть временную статистику о транзактах. Пример отчета показан на рис. 4.7.

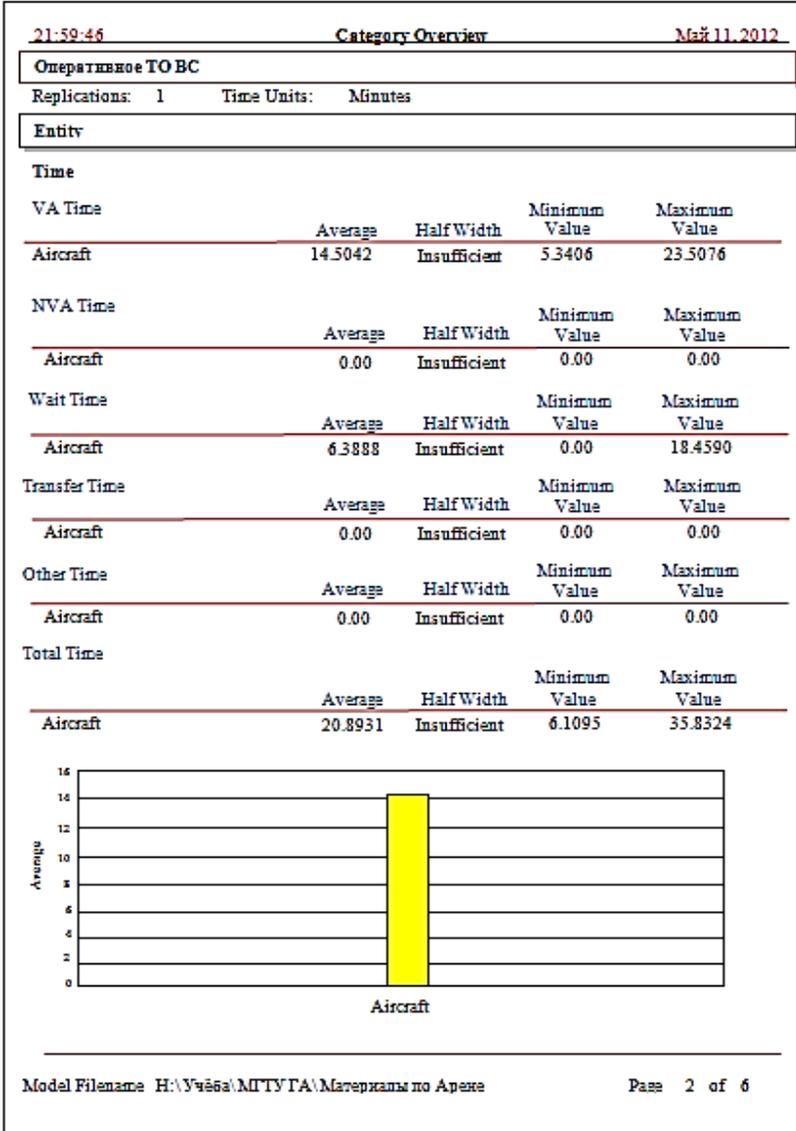


Рис. 4.7. Отчет о сущностях Entity

Система представляет следующие виды статистики, расположенные в строках:

VA Time — временная статистика, сохраненная в атрибуте Value Added Time. Как правило, этот атрибут используется для подсчета времени обслуживания;

NVA Time — временная статистика, сохраненная в атрибуте Non-Value Added Time;

Wait Time — временная статистика, сохраненная в атрибуте Wait Time. В этот атрибут по умолчанию сохраняется время, проведенное транзактом в очередях;

Transfer Time — временная статистика, сохраненная в атрибуте Transfer Time;

Other Time — временная статистика, сохраненная в атрибуте Other Time;

Total Time — сумма всех вышеперечисленных временных атрибутов.

Не забываем, что часть строк может быть расположена на второй и последующих страницах отчета.

Для каждого типа статистики выводится несколько значений, расположенных в столбцах:

Average — среднее значение по всем транзактам данного типа сущности;

Half Width — половина центрального доверительного интервала для нормального распределения.

Величина, для которой выводится эта статистическая оценка, с вероятностью 95% попадет в интервал $Average \pm Width$ в ходе симуляции.

В некоторых случаях вычисление этой величины невозможно, и вместо численного значения выводится подсказка о причине:

- **Insufficient** — распределение выборки случайных величин не является нормальным;

- **Correlated** — случайные величины из выборки не являются независимыми.

Minimum Value — минимальное значение по всем транзактам данного типа сущности;

Maximum Value — максимальное значение по всем транзактам данного типа сущности.

В нашем случае среднее время обслуживания транзакта (самолета) (**VA Time**) оказалось равным 14 минутам (это примерно равно математическому ожиданию равномерного закона распределения от 5 до 24), наименьшее время обслуживания — около 5 минут, наибольшее — около 24 минут.

Время, проведенное транзактом в очередях, около 6 мин. Суммарное время, проведенное транзактом в системе, от 6 до 36 минут.

Представим значения основных характеристик СМО из отчета в виде табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные характеристики СМО по результатам моделирования

Характеристика	Где найти	Значение						
Средняя продолжительность пребывания ВС в системе (время обслуживания и время проведенное в очереди).	Панель слева – Preview . Entity – Time – Total Time (Average) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Total Time</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Average</td> </tr> <tr> <td>Entity 1</td> <td style="text-align: right;">20.8931</td> </tr> </table>	Total Time			Average	Entity 1	20.8931	20,89 минут
Total Time								
	Average							
Entity 1	20.8931							
Среднее число ВС в очереди.	Queue –Other – Number Waiting (Average) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Number Waiting</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Average</td> </tr> <tr> <td>Computing. Queue</td> <td style="text-align: right;">0.4187</td> </tr> </table>	Number Waiting			Average	Computing. Queue	0.4187	0.42
Number Waiting								
	Average							
Computing. Queue	0.4187							
Средняя продолжительность пребывания ВС в очереди.	Queue – Time – Waiting Time (Average) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Waiting Time</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Average</td> </tr> <tr> <td>Computing. Queue</td> <td style="text-align: right;">6.3888</td> </tr> </table>	Waiting Time			Average	Computing. Queue	6.3888	6.39 минут
Waiting Time								
	Average							
Computing. Queue	6.3888							
Среднее число ВС на обслуживании.	Resource – Usage – Number Busy (Average) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Number Busy</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Average</td> </tr> <tr> <td>Workstation</td> <td style="text-align: right;">0.9506</td> </tr> </table>	Number Busy			Average	Workstation	0.9506	0.95
Number Busy								
	Average							
Workstation	0.9506							
Среднее число ВС в системе (вычисляется самостоятельно)	Среднее число ВС в очереди (Number Waiting) + среднее число запросов на обработке (Number Busy).	$0.42+0.95=1.37$						

По результатам моделирования видно, что СМО работает стационарно, т.е. не образуется бесконечной очереди; среднее число самолетов в системе, равное 1,37, можно считать удовлетворительным.

Перейдем ко второму разделу отчета, в котором содержатся сведения о стоимости обслуживания транзактов. Подобно видам временной статистики, существует несколько видов статистики стоимости. Каждый вид этой статистики связан с определенным атрибутом транзакта. Эти атрибуты (и виды статистики) имеют имена, схожие с именами временной статистики: Value Added Cost, Non-Value Added Cost, Wait Cost, Transfer Cost, Other Cost, Total Cost. По каждому виду статистики также представлены четыре значения, расположенные в столбцах таблиц.

В нашем случае минимальная стоимость обслуживания ВС оказалась равной 9 денежным единицам, максимальная — 39 единицам, средняя стоимость — 24 единицы. Указанные данные взяты из атрибутов Value Added Cost транзактов.

Далее в отчете о сущностях находится третий раздел **Other**, в нем расположены следующие элементы статистики:

- **Number In** — количество транзактов, введенных в модель за время симуляции;
- **Number Out** — количество транзактов, выведенных из модели за время симуляции.

Разность предыдущей и этой величин равна количеству транзактов, находящихся внутри модели (например, задержанных в блоках **Process**) к моменту остановки симуляции.

- **WIP** - Этот раздел сообщает о работе в процессе для каждого типа сущности.

Введём некоторое условие оперативного ТО ВС. Ресурс, выполняющий эту работу, должен быть свободен для обслуживания следующего ВС. В нашей модели оперативное ТО ВС выполняется модулю **Processes 1**, которому соответствует **Resources 1** (Персонал наземного технического обслуживания). Проверять занятость **Resources 1** в **Processes 1** мы будем через модуль **Decide 1**. ВС, обработанные модулем **Processes 1**, уходят через модуль **Dispose 1**. Не обработанные окажутся в модуле **Dispose 2**. Представим разработанную модель на рис. 4.8.

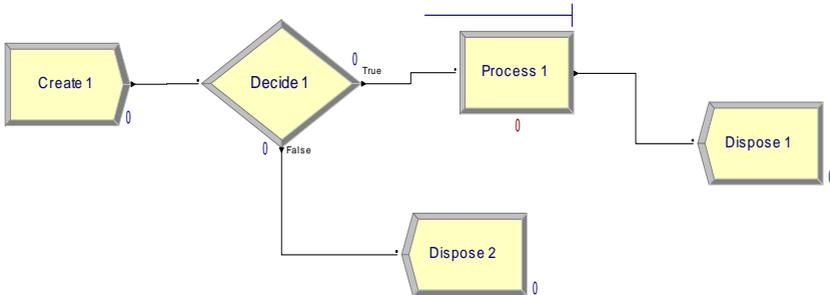


Рис. 4.8. Модель «Оперативное ТО ВС» в ПП ARENA 12

В **Decide 1** будет проверяться следующее. Если **Resources 1** для выполнения оперативного ТО ВС будет занят, то следом прибывший самолёт пойдёт не по ветке True, а по ветке False, и попадает в модуль **Dispose 2**.

Условие в блоке **Decide 1** будет следующим. Если **Resources 1** (Персонал наземного технического обслуживания) свободен, то выполняется оперативное ТО. «**STATE(The ground maintenance personnel) == IDLE_RES**».

Во вкладке **Basic Processes** панели проекта выбираем модуль данных **Variables**, дважды щелкаем на надписи «**Click here...**» в появившейся снизу таблице, под строчкой **Name** указываем **IDLE_Decide 1**.

Запускаем модель, затем открываем серию отчетов **Category Overview**. Можно увидеть, что в подразделе **Entity — Time** минимальное время нахождения транзакта в системе равно нулю (это соответствует ВС, которым было отказано в обслуживании). Аналогичные изменения затронули стоимостную статистику.

стику — минимальная стоимость прохождения системы также равна нулю. Разумеется, эти данные не являются информацией о времени и стоимости обслуживания — атрибуты необслуженных ВС остаются нулевыми и учитываются при построении статистики, хотя в этом случае они не отражают действительные характеристики (время обслуживания не равно нулю, так как обслуживание вообще не проводилось).

Для получения действительной информации о длительности и ценах обслуживания следует обратиться к разделу **Process**.

Отчеты о процессах содержат ту же информацию (время, стоимость), что и отчеты о сущностях, но те же характеристики представлены не для транзактов, а для процессов. Информация разбита также на пять разделов.

5. Вопросы, рекомендуемые к рассмотрению

1. Дайте определения основных понятий и терминов.
2. Что отражает имитационная модель ПТЭ АТ?
3. Какой математический аппарат используется при построении имитационной модели ПТЭ АТ?
4. Какие показатели эффективности используются в СМО?
5. Какие СМО называются замкнутыми?
6. В каком случае поток событий является стационарным или ординарным?
7. Какие основные графические модули и модули данных содержит имитационная модель в п.п. Arena 12? Дать их краткое описание.
8. Какие задачи содержит алгоритм имитационного моделирования ПТЭ АТ?

6. Оформление отчета по результатам выполнения практического занятия

Содержание отчета

Наименование практического занятия.

1. Цель практического занятия.
2. Вариант исходных данных.
3. Основные понятия, термины и определения.
4. Постановка задачи имитационного моделирования ПТЭ АТ.
5. Формирование исходных данных для имитационного моделирования ПТЭ АТ.
6. Разработка имитационной модели ПТЭ АТ с помощью программного продукта ARENA 12.
7. Реализация имитационного моделирования с помощью программного продукта ARENA 12.
8. Интерпретация результатов имитационного моделирования с помощью программного продукта ARENA 12.

Выводы.

ФИО студента, подпись, дата.

Литература

1. Алексанян А.Р. , Киселев Д.Ю., Файнбург И.А. Формирование процедур выполнения регламентных работ с применением информационных технологий имитационного моделирования // Научный вестник МГТУ ГА - 2011. - №173(11). - С.98-108.
2. Ицкович А.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов. Учебное пособие.- М.: МГТУГА, Часть 1- 1994. – 116 с. Часть 2 – 2002. – 88 с. Часть 3 – 2002. – 100 с.
3. Ицкович А.А., Алексанян А.Р., Файнбург И.А. Управление системами и процессами эксплуатации авиационной техники: Пособие по проведению практических занятий «Функциональное моделирование систем и процессов эксплуатации авиационной техники». – М.: МГТУ ГА, 2014. - 31 с.
4. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. – СПб.: Питер, 2004.
5. Маклаков С. В. Создание информационных систем с All Fusion Modeling Suite. – М.: Диалог МИФИ, 2003. - 432 с.
6. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.

Исходные данные вариантов заданий для создания имитационной модели в п.п. Arena 12

Готовность самолёта к полётам обеспечивается путём проведения оперативного ТО. В процессе эксплуатации самолёта предусматривается проведение следующих форм: **транзитное ТО (Transit Check)**; **ежедневное ТО (Daily Check)**; **еженедельное ТО (Weekly Check)**. Формы оперативного ТО, кроме плановых работ, содержат вспомогательные работы: **работы по встрече; работы по обеспечению вылета; работы по обеспечению стоянки** (выполняются, если предлагаемое время стоянки превышает 3 часа).

Вариант №1. Самолеты поступают на транзитное ТО каждые 5 – 10 мин. Закон распределения интервала между появлениями ВС – равномерный (**Uniform**). Проверить бортовой журнал и журнал пассажирской кабины на наличие замечаний лётного и кабинного экипажей. При необходимости, принять меры по устранению несоответствий. Выполняется в течение 11 – 30 минут персоналом наземного ТО (закон распределения принимаем также равномерным).

Введём стоимость за услуги ресурса. Количество группы, выполняющей эту работу, будем считать (**Capacity**) – 1. Пусть час работы (**Busy/Hour**) стоит 50 денежных единиц.

Вариант №2. Самолеты поступают на транзитное ТО каждые 5 – 10 мин. Закон распределения интервала между появлениями ВС – равномерный (**Uniform**). Провести общий осмотр самолёта по маршруту на наличие повреждённых. При этом, необходимо проверить: отсутствие посторонних предметов, загрязнения, льда или снега на всей видимой поверхности самолёта, в воздухозаборниках и выходных устройствах двигателей и ВСУ: нет течи топлива, масла или технических жидкостей. Выполняется в течение 15 – 30 минут (закон распределения принимаем также равномерным).

Введём стоимость за услуги ресурса. Количество группы, выполняющей эту работу, будем считать (**Capacity**) – 1. Пусть час работы (**Busy/Hour**) стоит 80 денежных единиц.

Вариант №3. Самолеты поступают на транзитное ТО каждые 5 – 10 мин. Закон распределения интервала между появлениями ВС – равномерный (**Uniform**). Провести общий осмотр самолёта по маршруту на наличие повреждённых. Проверить изношенность тормозов по индикатору износа, при включённом стояночном тормозе штырь индикатора должен выступать над поверхностью. Выполняется в течение 15 – 30 минут (закон распределения принимаем также равномерным).

Введём стоимость за услуги ресурса. Количество группы, выполняющей эту работу, будем считать (**Capacity**) – 1. Пусть час работы (**Busy/Hour**) стоит 80 денежных единиц.

Введём некоторое условие оперативного ТО ВС. Ресурс, выполняющий эту работу, должен быть свободен для обслуживания следующего ВС.

Вариант №4. Ежедневное обслуживание ВС, поступающих на «Daily Check», 1 раз в 24 часа, но не реже, чем 1 раз в 48 часов. Закон распределения интервала между появлениями ВС – равномерный (**Uniform**). Провести подготовительные работы: проверить правильность установки колодок; проверить установку предохранительных штырей на опорах шасси; убедиться, что самолёт заземлён; подключить к самолёту наземный источник электрического питания. Выполняется в течение 20 – 45 минут (закон распределения принимаем также равномерным).

Введём стоимость за услуги ресурса. Количество группы, выполняющей эту работу, будем считать (**Capacity**) – 1. Пусть час работы (**Busy/Hour**) стоит 100 денежных единиц.

Вариант №5. В осенне-зимний период ежедневное обслуживание «DAILY Check» ВС, поступающих 1 раз в 24 часа, но не реже, чем 1 раз в 48 часов. Выполнить осмотр резинового профиля герметизации дверей на предмет наличия влаги и льда.

Введём некоторое условие оперативного ТО ВС. При обнаружении воды, льда на резиновом профиле герметизации двери произвести обогрев с полным удалением образовавшейся влаги методом выдавливания через дренажное отверстие в нижней части профиля. Выполняется в течение 20 – 45 минут (закон распределения принимаем также равномерным).

Введём стоимость за услуги ресурса. Количество группы, выполняющей эту работу, будем считать (**Capacity**) – 1. Пусть час работы (**Busy/Hour**) стоит 100 денежных единиц.

Вариант №6. Ежедневное обслуживание «DAILY Check» ВС, поступающих 1 раз в 24 часа, но не реже, чем 1 раз в 48 часов. Выполнить визуальную проверку пассажирского салона на предмет исправности и пригодности оборудования, включая туалеты, кухни (печи, кофе-машины), пассажирские места, поверхности пола, делителей класса, дверей и боковых стен. Выполняется в течение 15 – 40 минут (закон распределения принимаем также равномерным).

Введём стоимость за услуги ресурса. Количество группы, выполняющей эту работу, будем считать (**Capacity**) – 1. Пусть час работы (**Busy/Hour**) стоит 100 денежных единиц.

Введём некоторое условие оперативного ТО ВС. Ресурс, выполняющий эту работу, должен быть свободен для обслуживания следующего ВС.

Содержание

1. Общие положения.....	3
2. Характеристика практического занятия.....	7
3. Содержание программного продукта ARENA 12 по имитационному моделированию	19
4. Методические рекомендации по имитационному моделированию ПТЭ АТ с помощью программного продукта ARENA 12	28
5. Вопросы, рекомендуемые к рассмотрению.....	28
6. Оформление отчета по результатам выполнения практического занятия.....	28
7. Литература.....	29
8. Приложение. Исходные данные вариантов заданий имитационной модели ПТЭ ЛА.....	30