

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М.АКМУЛЛЫ»

Р.Ф.Маликов, А.Р.Усманова

**Практикум по дискретно-событийному
моделированию сложных систем
в среде GPSS Studio**

(издание второе, измененное и дополненное)

Уфа 2021

УДК 004.93(075.8)

ББК 32.973.26.018.2 я 73

*Печатается по решению учебно-методического совета
Башкирского государственного педагогического университета
им. М.Акмиллы*

Маликов Р.Ф. Практикум по дискретно-событийному моделированию сложных систем в среде GPSS-Studio [Текст]: практикум / Р.Ф.Маликов, А.Р.Усманова. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2021. – 395с.

В практикуме даны основные сведения по системе программирования GPSS и среде моделирования «GPSS Studio». Представлена парадигма об уровнях имитационного моделирования, согласно которой выработаны методические рекомендации по разработке имитационных моделей и проведению имитационных исследований (производственных процессов, транспортных сетей, систем массового обслуживания, информационных процессов в узлах компьютеров и вычислительных сетей) в среде GPSS Studio.

Предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям подготовки 09.00.00 - «Информатика и вычислительная техника», для преподавателей, аспирантов, а также для инженеров, научных работников, специализирующихся в области имитационного моделирования производственных, транспортных и других сложных систем.

Рецензенты:

В.Е. Гвоздев, д-р техн. наук, зав. кафедрой технической кибернетики, проф. (УГАТУ, Уфа);

В.В. Девятков, д-р экон. наук, главный научный сотрудник Института прикладных исследований АН РТ.

ISBN 978-5-907176-63-8

©Маликов Р.Ф., Усманова А.Р., 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. СРЕДА ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS WORLD И ЕГО РАСШИРЕНИЕ	10
1.1. Основные понятия теории систем массового обслуживания	10
1.2. Среда дискретно-событийного моделирования GPSS World и его возможности	13
1.3. Среда имитационного моделирования GPSS-Studio	26
1.3.1. Пользовательский интерфейс редактора GPSS-Studio	30
1.3.2. Пользовательский интерфейс редактора форм	40
ГЛАВА 2. УЧЕБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	45
2.1. Уровни имитационного моделирования	45
2.2. Моделирование работы автозаправочной станции	50
2.3. Моделирование работы производственного участка цеха	74
2.4. Моделирование работы мастерской по ремонту компьютеров	89
2.5. Моделирование работы парикмахерского салона	109
2.6. Моделирование системы управления запасами	120
2.7. Моделирование системы управления качеством	138
ГЛАВА 3. УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	155
3.1. Моделирование работы супермаркета	155
3.2. Моделирование работы швейной фабрики	174
3.3. Моделирование системы передачи информации	189
3.4. Моделирование узла распределения информации	199
3.5. Моделирование устройства обработки информации (процессора)	210
3.6. Моделирование устройства обработки и сжатия данных	227
3.7. Моделирование распределенной системы обработки и передачи данных	245
3.8. Моделирование системы обработки информации от удаленного объекта	255
3.9. Задачи и темы на учебно-исследовательское моделирование	278
3.9.1. Моделирование сети передачи данных через транзитный узел	278
3.9.2. Темы для разработок имитационных моделей на учебно-исследовательское моделирование в области туризма	279

ГЛАВА 4. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	281
4.1. Подготовка кадров по имитационному моделированию	281
4.2. Этапы конструирования и разработки имитационных моделей	284
4.3. Исследование работы автобусного маршрута	287
4.3.1. Анализ предметной области и патентная проработка	289
4.3.2. Проектирование имитационной модели	290
4.3.3. Разработка имитационной модели автобусного маршрута и результаты машинного эксперимента	296
4.4. Исследование работы брошюровочно-переплетного цеха	310
4.4.1. Анализ предметной области	310
4.4.2. Проектирование имитационной модели	313
4.4.3. Разработка имитационной модели «Изготовление книги в твердом переплете» и результаты машинного эксперимента	316
4.5. Исследование работы автомастерской таксопарка	320
4.5.1. Разработка имитационной модели «Автомастерская таксопарка»	320
4.5.2. Машинный эксперимент и анализ результатов моделирования	341
4.6. Исследование работы кирпичного завода по производству силикатного кирпича	344
4.6.1. Анализ предметной области	345
4.6.2. Технологические схемы и этапы производства силикатного кирпича	346
4.6.3. Разработка имитационной модели «Кирпичный завод»	350
4.6.4. Машинный эксперимент и анализ результатов моделирования	359
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	362
ЛИТЕРАТУРА	363
ПРИЛОЖЕНИЯ	367
П1. GPSS модель «Автозаправка».	367
П2. GPSS модель «Моделирование участка цеха»	367
П3. GPSS модель «Компьютерная мастерская»	369
П4. GPSS модель «Парикмахерский салон»	369
П5. GPSS модель «Моделирование системы управления запасами»	370
П6. GPSS модель «Моделирование системы управления качеством»	371
П7. GPSS модель «Супермаркет»	372

П8. GPSS модель «Швейная фабрика»	375
П9. GPSS модель «Система передачи информации»	376
П10. GPSS модель «Узел распределения информации»	377
П11. GPSS модель «Устройство обработки информации»	378
П12. GPSS модель «Устройство обработки и сжатия данных»	379
П13. GPSS модель «Распределенная система обработки и передачи дан- ных»	381
П14. GPSS модель «Система обработки информации от удаленного объекта»	382
П15. GPSS модель «Сеть передачи данных через транзитный узел»	383
П16. GPSS модель «Автобусный маршрут №234»	385
П17. GPSS модель «Брошюровочно-переплетный цех»	391
П18. GPSS модель «Автомастерская»	393
П19. GPSS модель «Кирпичный завод»	396

ВВЕДЕНИЕ

Одно из направлений развития вычислительных технологий в настоящее время – это разработка новых инструментальных сред, позволяющих создавать аналитические и имитационные модели в различных отраслях: в науке, образовании, в экономике, на производстве, в бизнесе.

Технологий и средств моделирования на сегодняшний день разработано достаточно много, каждый из этих инструментальных средств моделирования ориентирован на определенную методологию. Невозможно сразу начинать моделировать какой-либо процесс, для этого необходимо специальное обучение способам, приемам и технологиям компьютерного имитационного моделирования. Изучение и освоение методик и систем имитационного компьютерного моделирования является одним из важных образовательных задач на сегодняшний день.

Специалист по моделированию, приступая к решению задачи, должен знать основы исследуемых процессов, подходы и методы решения сложных процессов и систем, в том числе с использованием аналитических и имитационных моделей, а также конкретные системы моделирования и используемые в них языки программирования. Среди множества сред аналитического моделирования базовыми являются: Maple, MATLAB, Mathematica, и другие.

Наиболее распространенным и достаточно удобным способом моделирования объектов и процессов реального мира является имитационное компьютерное моделирование. При обучении моделированию сложных систем в России широко используются инструментальные среды разработки визуальных аналитических и имитационных моделей сложных систем: MvStudium, приложения системы MATLAB: Simulink и SimEvents, Arena, AnyLogic, Pilgrim, Simul8 и др. Особое место среди всех сред разработки компьютерных моделей сложных систем принадлежит расширению средств работы с классическими моделями GPSS World, под названием «GPSS Studio», позволяющему строить имитационные модели очень сложных систем и обеспечить весь цикл имитационного исследования [17]. Но для возможности оперировать этой программной средой и получать при моделировании верные результаты пользователь должен овладеть методами и технологией работы в среде, понять ее функциональные особенности. Для этого и был разработан данный практикум. Сначала этот программный продукт назывался расширенным редактором GPSS World, а в 2017 году он получил свое современное название – среда моделирования GPSS Studio.

Преимущество инструментальных средств имитационного моделирования состоит в том, что они позволяют создать модель любой сложной органи-

зационно-технической системы. А на основе модели провести исследование системы при различных сценариях и на различных этапах жизненного цикла системы - в процессе ее проектирования, функционирования и модернизации. Это позволяет выявить «узкие места» и выработать рекомендации по устранению причин неэффективной работы и оптимизации реальной системы.

Одним из приоритетных направлений подготовки инженеров в области информатики и информационных систем и технологий является развитие инженерно-технического мышления. В этом смысле обучение студентов технологиям разработки имитационных моделей сложных систем как информационных систем на основе группы ГОСТ 34 и 19 является основной задачей по формированию базовых знаний, в частности научно-исследовательских компетентностей инженера.

Представляемый практикум по имитационному моделированию дискретно-событийных процессов в среде GPSS Studio состоит из четырех глав.

В первой главе приведены основные понятия, используемые при моделировании систем массового обслуживания, основных операторов языка имитационного моделирования GPSS World. Далее приводится информация о возможностях отечественного программного продукта GPSS Studio.

Во второй главе излагается парадигма уровней имитационного моделирования. Согласно этой парадигме, разработаны методические рекомендации в виде лабораторных работ, позволяющие студентам освоить технологию имитационного моделирования в среде GPSS Studio.

Третья глава посвящена разработке имитационных моделей на уровне учебно-исследовательского моделирования систем в среде GPSS-Studio и представлены задачи для разработки имитационных установок для моделирования узлов и элементов вычислительных сетей. Для построения лабораторных работ в GPSS Studio мы использовали известные задачи, решенные в среде программирования GPSS World.

В четвертой главе приведены разработки имитационных моделей на уровне научно-исследовательской работы. Здесь приведены этапы имитационного моделирования и проведено их согласование с этапами выполнения выпускной квалификационной работы.

Представленные имитационные модели построены в первом приближении и, соответственно, могут быть уточнены, детализированы и доработаны после анализа и обсуждения со специалистами в соответствующей предметной области. На примере разработки учебных и исследовательских работ показаны основные возможности и инструменты разработки имитационных моделей в среде GPSS Studio. В конце пособия приведена рекомендуемая литература.

Данный практикум предназначен для освоения технологий имитационного моделирования, в частности разработки дискретно-событийных моделей в инструментальной мастерской-студии GPSS–Studio

Целью изучения дисциплины «Дискретно-событийное моделирование» является формирование профессиональных компетенций типа¹ :

- ОПК-2 - способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

- ПК 5 - способность проводить моделирование процессов и систем;

- ПК-23 - готовностью участвовать в постановке и проведении экспериментальных исследований

- ПК-24 - способностью обосновывать правильность выбранной модели, сопоставляя результаты экспериментальных данных и полученных решений

Основными задачами дисциплины являются:

- сформировать базовый понятийный аппарат;
- заложить базовые знания, необходимые для проведения имитационного моделирования;
- сформировать представление об общих принципах построения имитационных моделей, проведения процесса моделирования, эксперимента;
- научить применять инструментальные средства для построения имитационных моделей, проведения процесса моделирования, построения и проведения эксперимента, анализа отчета;
- способствовать формированию навыков работы с учебной, научной и научно-методической литературой, как на бумажных, так и на электронных носителях.

В результате освоения дисциплины студент должен:

– представлять возможности компьютерных технологий, специального программного обеспечения для решения прикладных проблем, сферу применения, достоинства и недостатки имитационного компьютерного эксперимента и моделирования, соотношение человеческого и машинного фактора при решении и анализе решений прикладных проблем;

– владеть основными типами и видами имитационного компьютерного моделирования, уметь ставить прикладную задачу и предлагать пути ее решения;

– уметь работать с основными программными средами и продуктами, используемыми для имитационного компьютерного моделирования;

¹ Компетенции по ФГОС 3(плюс) для направления 09.03.02 – Информационные системы и технологии»

– решать типовые задачи имитационного компьютерного моделирования и адекватно строить стратегию по компьютерному решению и моделированию новых прикладных задач, основываясь на особенностях задачи и учитывая выбранные средства компьютерной реализации решения и моделирования.

Практикум предназначен для бакалавров, магистров, обучающихся технологиям имитационного моделирования, для преподавателей, для разработчиков компьютерных моделей и для научных работников, занимающихся разработками компьютерных моделей сложных систем на основе методологии дискретно-событийного моделирования.

Автор выражает искреннюю признательность рецензентам профессору, доктору технических наук Владимиру Ефимовичу Гвоздеву, и директору ООО «Элина-Компьютер», доктору экономических наук Владимиру Васильевичу Девяткову за консультации, полезные замечания и советы по разработке имитационных моделей в среде GPSS Studio и благодарность студентам Института математики, физики и, цифровых и нанотехнологий 2016-2017 года набора за помощь по проверке работы имитационных моделей.

ГЛАВА 1. СРЕДА ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS WORLD И ЕГО РАСШИРЕНИЕ

1.1. Основные понятия теории систем массового обслуживания

Примеров систем массового обслуживания, которые окружают нас, можно привести очень много, практически все системы, которые относятся к сфере обслуживания - это магазины и ателье любых типов, автомобильные заправки, сервисные мастерские, туристические экскурсии любого вида, парикмахерские, адвокатские и нотариальные конторы, комбинаты бытового обслуживания, банковские систем, автомобильные дороги и т.д. По теории систем массового обслуживания (далее СМО) описывающей и позволяющей создавать различные математические модели СМО максимально приближенных к реальным, написано множество работ и книг (см. [5, 6, 10, 11, 18, 35, 46] и ссылки, литературу в них).

СМО подразделяются на одноканальные и многоканальные, с отказами, с ограничением очереди обслуживания и бесконечной очередью. К примеру, к одноканальным системам относятся системы, состоящие из одного человека, который обслуживает клиента в той или иной сфере обслуживания. Клиенты приходят в систему обслуживания в случайные моменты времени. Время обслуживания в любой системе также является случайным и подчиняется какому-то закону распределения.

Примеров многоканальных СМО можно привести также много - это супермаркеты, банковские системы, многополосные автомобильные дороги, компьютерные и другие системы, в которых имеются параллельные каналы, линии, приборы обслуживания.

Таким образом, СМО – это совокупность приборов, каналов, станков, линий обслуживания, на которые в случайные или детерминированные моменты времени поступают заявки, обслуживание которых также выполняется за детерминированный или случайный интервал времени.

В зависимости от скоростей поступления и обслуживания заявок, СМО бывает с отказами или с очередью.

Очередью будем называть группу заявок, ожидающих обслуживания.

На рис. 1.1 схематично представлены виды СМО, здесь заявки поступают в накопитель, где в зависимости от соотношения времени поступления и обслуживания может образоваться очередь на обслуживание или нет.

Любая СМО характеризуется следующими случайными переменными:

Интервал прибытия заявок – это интервал времени между последовательными моментами прибытия заявок в систему.

Время обслуживания – это время, требуемое прибору для выполнения обслуживания.

В соответствии с этими определениями вводятся понятие средней скорости поступления заявок λ и средней скорости обслуживания μ в данной системе массового обслуживания.

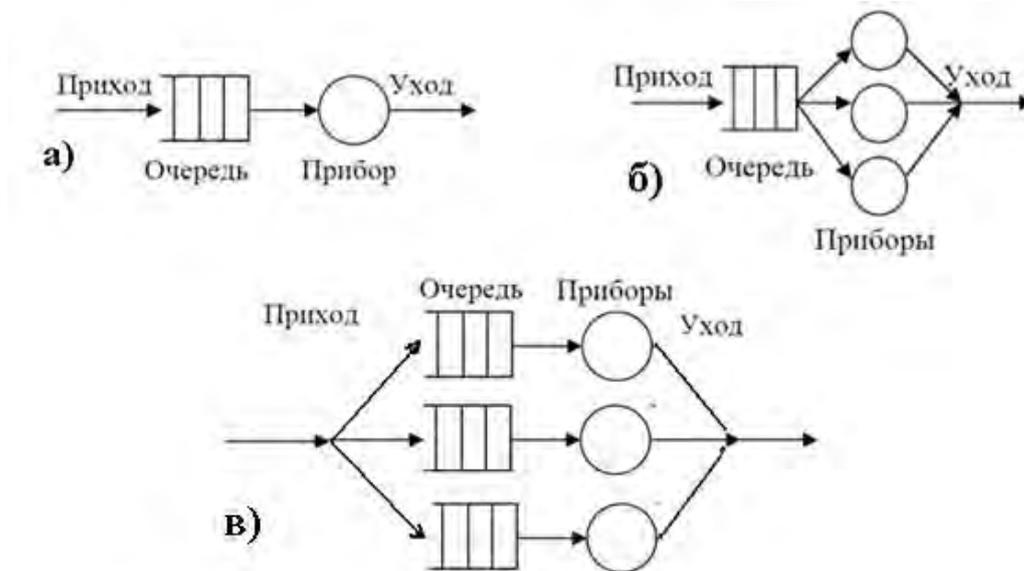


Рис. 1.1.Одноканальные (а) и многоканальные (б, в) СМО

В число случайных переменных можно ввести также следующие основные характеристики СМО:

- 1.Число заявок, прибывших на обслуживание за заданный промежуток времени.
- 2.Число заявок, которые попали на обслуживание сразу же по прибытии.
- 3.Среднее время пребывания заявок в очереди.
- 4.Средняя длина очереди.
- 5.Максимальная длина очереди.
6. Загруженность прибора, являющаяся функцией времени, которое потрачено прибором на обслуживание в течение заданного промежутка времени.

Эти характеристики являются основными показателями эффективности СМО.

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

Для построения имитационной модели системы массового обслуживания необходимо определить условия для характеристик системы:

1.Случайные переменные *интервал прибытия* и *время обслуживания* должны быть определены в виде строго заданных функциональных зависимостей.

2.Все прибывающие заявки должны быть либо обслужены, либо им отказано в обслуживании по заданным в модели условиям и это не зависит от длины очереди.

3.Вначале моделирования система «пуста», т.е. нет очереди, и обслуживающий прибор свободен.

4.Моделирование продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто значение модельного времени, заданное для этой модели в качестве одного из входных данных.

При моделировании систем массового обслуживания совершаются некоторые *события*. События разделяются на две категории:

1.Основное событие – это такое событие, время возникновения которого можно запланировать заранее. Это, например, приход заявки, начало обслуживания и завершение обслуживания.

2.Вспомогательное событие – это событие, время возникновения которого невозможно запланировать заранее. Эти события возникают тогда же, когда и основные, но являются зависимыми, возникающими как следствие основных событий.

Таймер модельного времени. Промежуток времени между началом моделирования и его завершением называется *модельным временем*. Так как работа модели связана с последовательным возникновением событий, то вполне естественно использовать понятие Таймер Модельного Времени в качестве одного из элементов модели системы. Для этого вводят специальную переменную и используют ее для фиксации текущего времени работы модели. Опишем теперь некоторые специфические свойства таймера модельного времени.

Когда начинается моделирование, таймер модельного времени обычно устанавливают на нулевое значение. Разработчик сам решает вопрос о том, какое значение реального времени принять за точку отсчета. Например, началу отсчета может соответствовать 8 ч утра первого моделируемого дня. Разработчик также должен решить вопрос о выборе величины единицы времени. Единицей времени может быть 1 с, 5 с, 1 мин, 20 мин или 1 ч. Когда единица времени выбрана, все значения времени, получаемые при моделировании или входящие в модель, должны быть выражены через эту единицу.

На практике значения модельного времени должны быть достаточно малыми по сравнению с реальными промежутками времени, протекающими в моделируемой системе. Если при моделировании некоторой системы при текущем значении модельного времени ее состояние изменилось, то нужно уве-

личить значение таймера. Чтобы определить, на какую величину должно быть увеличено значение таймера, используют один из двух методов.

1. Концепция фиксированного приращения значений таймера

При таком подходе увеличивают значение таймера ровно на одну единицу времени. Затем нужно проверить состояние системы и определить те из запланированных событий, которые должны произойти при новом значении таймера. Если таковые имеются, то необходимо выполнить операции, реализующие соответствующие события, снова изменить значение таймера на одну единицу времени и т.д. Если проверка покажет, что для нового значения таймера не запланировано ни одного события, то произойдет передвижение таймера непосредственно к следующему значению.

2. Концепция переменного приращения значений таймера.

В этом случае условием, вызывающим приращение таймера, является наступление времени «близкого события». Близкое событие – это то событие, возникновение которого запланировано на момент времени, равный следующему ближайшему значению таймера модельного времени. Колебания приращения таймера от случая к случаю объясняют выражение «переменное приращение времени».

Завершение моделирования. Обычно после какого-то момента времени наступает необходимость прекратить моделирование. Например, нужно предотвратить приход новых заявок в систему, но обслуживание надо продолжать до освобождения системы. Одним из способов является введение в модель основного псевдособытия, называемого завершением моделирования. Тогда одной из функций модели будет планирование этого события. Момент времени, наступление которого должно вызвать остановку моделирования, задается обычно в виде числа. Таким образом, в процессе моделирования нужно проверять, является ли событие «завершение моделирования» следующим событием. Если «да», то в таймере устанавливается значение времени конца моделирования, а управление передается процедуре, которая отрабатывает завершение моделирования.

1.2. Среда дискретно-событийного моделирования GPSS World и ее возможности

Для того чтобы анализировать процессы и бизнес-процессы, протекающие в мире, зачастую их удобно рассматривать как последовательность отдельных важных моментов – событий. Подход к построению имитационных моделей, предлагающий представить реальные действия в виде последовательности событий называется "дискретно-событийным" моделированием.

Дискретно-событийное моделирование (англ. discrete-event simulation, DES) — это разновидность имитационного моделирования. В дискретно-событийном моделировании функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий. Событие происходит в определенный момент времени и знаменует собой изменение состояния системы.

Дискретно-событийное моделирование в большей степени развито и включает в себя огромную сферу приложений – от транспортных и производственных, до систем логистики и систем массового обслуживания.

В эпоху больших компьютеров (серий IBM и ЕС ЭВМ) наиболее популярным и используемым инструментом имитационного моделирования стал язык GPSS, созданный Джеффри Гордоном и компанией IBM в 1961 году. Здесь была реализована идея моделирования систем с дискретными событиями в виде Системы общецелевого моделирования или General Purpose Systems Simulator (GPSS). В СССР очень большое распространение GPSS получил и на больших ЭВМ.

Ярким подтверждением этого стала последовательная адаптация GPSS/360 и GPSS V в виде пакетов прикладных программ ПМДС и ПМДС 2.0 на Казанском заводе ЭВМ. Данные пакеты были поставлены в более чем в 1000 организаций страны и получили большое практическое применение. Кроме этого в СССР издательство «Машиностроение» была переведена и выпущена большим тиражом (8000 экземпляров) «Красная» книга Т. Дж. Шрайбера «Моделирование на GPSS» [48]. Впоследствии эта книга стала бестселлером и до сих пор используется в учебном процессе.

Поэтому, с появлением персональных ЭВМ и большой потребностью в инструментах моделирования в начале 2000-х годов в г. Казани компанией «Элина-Компьютер» была локализована общецелевая система имитационного моделирования для ПЭВМ – GPSS World. Она получила большое распространение и использовалась в учебном процессе нескольких сотен высших учебных заведений России. До сих пор в основе курсов «Моделирование систем», «Компьютерное моделирование», «Имитационное моделирование бизнес-процессов» для значительного количества специальностей лежит язык GPSS.

В рамках среды имитационного моделирования GPSS World можно рассмотреть основные подходы к моделированию систем различной природы. Для проведения практических занятий часто используют свободно распространяемую версию системы GPSS World Student Version. Она исключительно подходит к моделированию систем, которые можно представить в виде СМО. И это вполне подходит для моделирования многих процессов, в том числе и для моделирования процессов, происходящих в компьютерах и вычислительных системах. Класс моделей можно расширить, используя другие

системы моделирования, например, MATLAB/Simulink/SimEvents, Arena, VenSim, PowerSim, Pilgrim и другие.

В системе GPSS имитационная модель реализуется с использованием дискретно-событийного подхода. Многие блоки GPSS описывают в модели уже готовые элементы СМО – очереди, одноканальные и многоканальные устройства. GPSS World разработан компанией Minuteman Software. Используемая для лабораторных работ, версия программы - GPSS World Student Version, является свободно распространяемой и ее можно скачать с официального сайта разработчика www.minutemansoftware.com.

В системе GPSS моделируемая система представляется с помощью набора абстрактных элементов, называемых объектами. Каждый объект принадлежит к одному из типов объектов. Объект каждого типа характеризуется определенным способом поведения и набором атрибутов, определяемых типом объекта. Например, если рассмотреть работу порта, выполняющего погрузку и разгрузку прибывающих судов, и работу отделения банка, обслуживающего клиента, то можно заметить большое сходство в их функционировании (рис.1.2). В обоих случаях имеются объекты, постоянно присутствующие в системе (порт и кассир или банкомат), которые обрабатывают поступающие в систему объекты (корабли и посетители банка). В теории массового обслуживания эти объекты называются приборами и заявками. Когда обработка поступившего объекта заканчивается, он покидает систему. Если в момент поступления заявки прибор обслуживания занят, то заявка становится в очередь, где и ждет до тех пор, пока прибор не освободится. Очередь также можно представлять себе как объект, функционирование которого состоит в хранении других объектов.

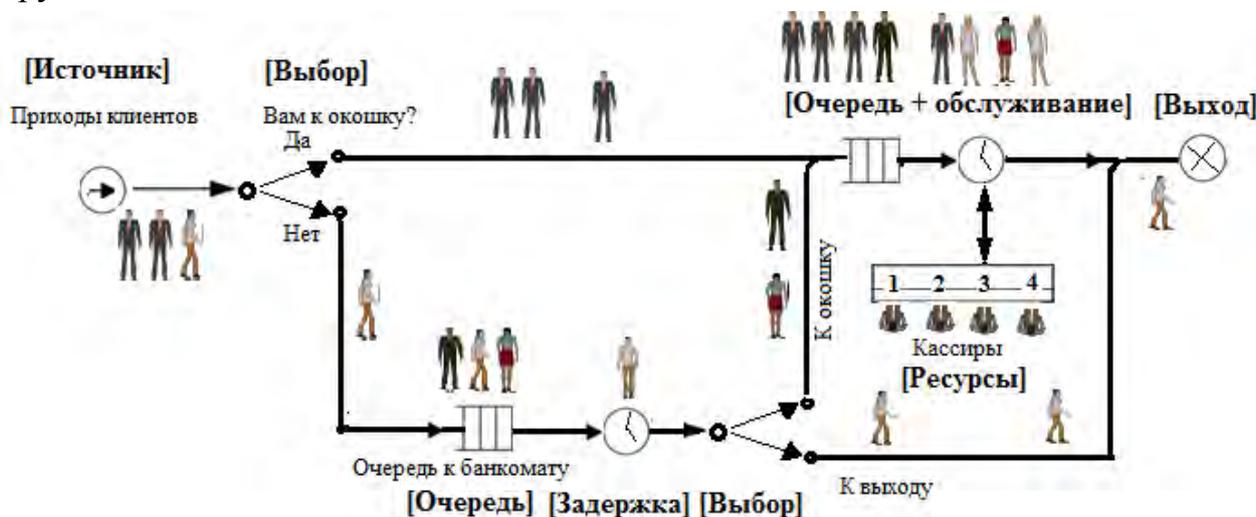


Рис. 1.2. Схема системы массового обслуживания «Отделение банка»

Каждый объект может характеризоваться рядом атрибутов, отражающих его свойства. Например, прибор обслуживания имеет некоторую производительность, выражаемую числом заявок, обрабатываемых им в единицу времени. Сама заявка может иметь атрибуты, учитывающие время ее пребывания в системе, время ожидания в очереди и т.д. Характерным атрибутом очереди является ее текущая длина, наблюдая за которой в ходе работы системы (или ее имитационной модели), можно определить ее среднюю длину. В языке GPSS определены классы объектов, с помощью которых можно задавать приборы обслуживания, потоки заявок, очереди и т.д., а также задавать для них конкретные значения атрибутов [28].

Под руководством профессора Бориса Яковлевича Советова (ЛЭТИ), в 90-е годы были написаны и впоследствии переиздавались несколько учебников по моделированию систем [37, 38], давших дополнительный толчок к развитию имитационного моделирования в России. Эти книги были ориентированы на разработку имитационных моделей в среде GPSS и до сих пор являются базовыми учебниками.

В дальнейшем, начиная с 2000 г. был написан ряд учебных пособий, практикумов [1-3, 7-10, 16, 17, 21-28, 32,42], в которых представлены задачи практико-ориентированного характера и их решения, связанные с моделированием непроизводственных, производственных систем, а также систем, связанных со сферой обслуживания в различных отраслях.

О возрождении интереса к языку GPSS говорит и появление ряда русскоязычных Интернет-ресурсов по системе GPSS. Кроме www.gpss.ru – это www.gpss-forum.narod.ru и www.simulation.org.ua.

Система GPSS World – комплексный моделирующий инструмент, охватывающий области как дискретного, так и непрерывного компьютерного моделирования и обладающий определенным уровнем интерактивности и визуального представления информации. На сегодняшний день GPSS World является приложением для семейства операционных систем Windows и использует их очевидные преимущества – графический оконный интерфейс пользователя и архитектуру «документ-вид». Программное обеспечение представляет собой полноэкранный текстовый редактор, позволяющий работать сразу с несколькими объектами (текст модели, журнал, отчет и т. д.) Кроме того, графический интерфейс дает возможность интерактивно взаимодействовать с выполняющимися процессами моделирования, а также применять наглядные графические окна для отображения их работы.

Для реализации взаимодействия GPSS World предоставляет, во-первых, механизм потоков данных. Под потоком данных в GPSS World понимается последовательность текстовых строк, используемых в процессе моделирования. С его помощью можно считывать и записывать данные в файлы текстового формата. Для управления потоками данных служат специальные блоки и процедуры. Таким образом, с помощью потоков данных можно использовать текстовые файлы, в том числе и для обмена информацией с внешними приложениями.

Второй механизм – процедуры динамического вызова. Библиотека встроенных процедур GPSS World содержит набор процедур для вызова функций, хранящихся во внешних исполняемых файлах, включая динамически подключаемые библиотеки DLL. То есть пользователь может прибегнуть к библиотекам функций сторонних разработчиков (или собственной разработки), которые порой существенно расширяют возможности системы.

GPSS World – самая современная реализация языка GPSS, дополненная вспомогательным языком PLUS. Непосредственно язык GPSS включает в себя 53 типа блоков и 25 команд, большое количество системных числовых атрибутов. Кроме того, 12 типов операторов составляют язык PLUS – Programming Language Under Simulation. Эффективность PLUS во многом обеспечивается большой библиотекой процедур.

GPSS World – объектно-ориентированный язык. Объект «Модель» главным образом содержит оператора модели, а также набор настроек. Кроме того, он включает в себя закладки и циркулярный список синтаксических ошибок.

Объект «Процесс моделирования» создается при трансляции операторов объекта «Модель». Для изменения его состояния применяются интерактивные команды и блоки.

В отличие от языков процедурного программирования, где формы отчетов по результатам моделирования разрабатываются самими программистами, в среде объектно-ориентированного программирования GPSS имеются стандартные отчеты. Удобство этих отчетов в том, что формы выдачи отчетов можно настроить пользователем на получение только необходимой информации.

Текстовый объект – это способ представления обычного текстового файла в GPSS World. В основном они применяются совместно с командами INCLUDE для подключения набора операторов, используемого в различных моделях. Кроме того, закрепив команду INCLUDE за горячей клавишей, мож-

но интерактивно передавать объекту «Процесс моделирования» списки управляющих команд.

В GPSS World применяются полиморфные типы данных. Переменные могут принимать значения одного из четырех типов. Ячейки, элементы матриц, параметры транзактов и переменные пользователя могут принимать целочисленное, вещественное, строковое и неопределенное (unspecified) значение. Неопределенные значения используются при проведении дисперсионного анализа и указывают на отсутствующие данные. Значения времени могут быть целыми или вещественными. Преобразование типов происходит автоматически. Для работы со строковыми значениями в библиотеке процедур есть ряд специальных функций.

Вычислительные системы (ВС), которые будут рассматриваться как СМО, состоят из элементов, называемых объектами аппаратной категории (устройства, памяти и логические ключи). Этими элементами могут быть компьютеры, отдельные устройства компьютеров, устройства телеобработки и т.п. Динамическими объектами в СМО являются транзакты (сообщения, заявки), это решаемые в ВС задачи, которые представляют собой единицы исследуемых потоков. Функционирование СМО представляется как процесс прохождения транзактов через фиксированную структуру объектов аппаратной и ряда других категорий.

Так же в GPSS World присутствует ряд анимационных возможностей. Уровень их реализации колеблется от абстрактной визуализации, не требующей никаких усилий, до высоко реалистических динамических изображений, включающих в себя сложные элементы, созданные пользователем.

К студенческой и коммерческой версии GPSS World были добавлены новые возможности:

- Автоматический генератор отсеивающего эксперимента;
- Автоматический генератор оптимизирующего эксперимента.

В студенческой версии стали доступны кадры состояния:

- Библиотечная процедура дисперсионного анализа (ANOVA);
- Переменное количество аргументов в процедуре Poly Catenate();
- Библиотечные процедуры динамического вызова внешних функций;
- Возможность трассировки PLUS;
- Пакетный режим работы;
- Команда EXIT² с различными режимами сохранения файлов;
- Диалоговые окна создания блоков;

² При разработке программ на GPSS команда EXIT записывается сокращенно EXI.

- Настраиваемые интервалы табуляции;
- PLUS-процедуры для операций с потоками данных.

Для детального изучения среды имитационного моделирования GPSS рекомендуются книги [3, 8, 16, 21-25, 27-28, 37, 38, 47, 48] и информационные и образовательные порталы www.gpss.ru, www.gpss-forum.narod.ru, www.simulation.org.ua и www.intuit.ru [32, 33, 40, 50]. В данном практикуме приводятся лишь некоторые блоки и возможности моделирования.

Блоки генерации и удаления транзактов

GENERATE A,B,C,D,E – блок генерации транзактов. A – средний интервал времени между последовательными транзактами; B – разброс интервала времени относительно A; C – время начальной задержки; D – количество генерируемых транзактов, по умолчанию неограниченно; E – приоритет транзактов, по умолчанию 0. TERMINATE A – блок удаления транзакта. A – величина уменьшения счетчика числа завершений.

Блоки занятия и освобождения приборов

SEIZE A – блок занятия прибора. A – имя прибора, подлежащего занятию транзактом.

RELEASE A – блок освобождения прибора. A – имя освобождаемого прибора.

ADVANCE A,B – блок задержки транзакта в цепи будущих событий. A – средний интервал времени задержки; B – разброс интервала времени относительно A.

Операторы и блоки вычислительной категории

Name VARIABLE X – оператор описания целой переменной. Name FVARIABLE X – оператор описания действительной переменной.

Name BVARIABLE X – оператор описания логической переменной.

Name -- имя переменной; X – выражение соответствующего типа.

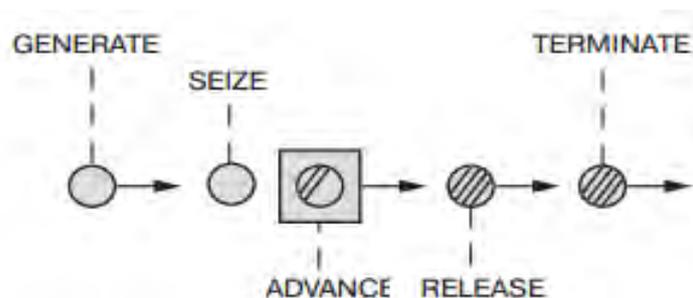


Рис.1.3. Схема одноканального СМО без очереди

SAVEVALUE A,B – блок сохранения значения сохраняемой величины.

А – имя или номер изменяемой ячейки; В – значение, которое надо записать в ячейку.

Блоки копирования и маршрутизации транзактов

Для распараллеливания транзактов по каналам и оптимизации маршрутов продвижения транзактов используются блоки

SPLIT A, B, C, D – где А число копий,

ASSEMBLE A

TRANSFER A, B, C, D

Компиляция и запуск имитации

Для того чтобы создать модель, необходимо запустить GPSS World. Выбрать пункт меню File → New и указать, что новый файл будет моделью (Model). После чего набрать текст программы на языке GPSS и откомпилировать ее, вызвав Command → Create Simulation. Если компилятор выдал сообщение об успешной компиляции:

Model Translation Begun.

Ready.

Пример 1. Процесс прохождения заявок (транзактов), поступление которых подчиняется равномерному закону со средним значением 8 и интервалом [6,10] единиц времени, а обработка – равномерному закону со средним 5 и интервалом [2,8]. Другими словами, поступление заявок подчиняется равномерному закону с интервалом 7 ± 2 мин, а обработка — равномерному закону со временем обработки 5 ± 3 мин.

Интерфейс среды программирования GPSS и программа для решения задачи представлена на рис.1.4.

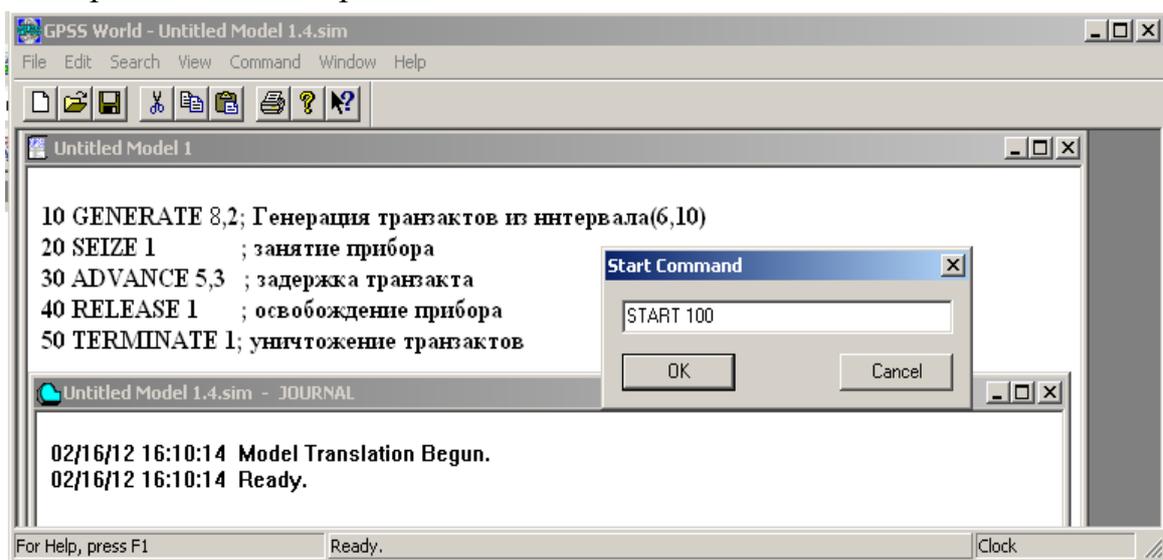


Рис.1.4. Программа решения для одноканального СМО

После набора программы можно провести компиляцию программы Command → Create Simulation, если ошибок нет, то запустить Start через меню Command. В результате задания количества транзактов START 100 на рис. 1.5имеем стандартный отчет (Report).

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.4.1

Thursday, February 16, 2012 16:15:16

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	813.630	5	1	0

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
	1	GENERATE	100	0	0	0
	2	SEIZE	100	0	0	0
	3	ADVANCE	100	0	0	0
	4	RELEASE	100	0	0	0
	5	TERMINATE	100	0	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
1	100	0.613	4.991	1	0	0	0	0	0

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
101	0	819.106	101	0	1		

Рис.1.5.Стандартный отчет (Report)

Отличительной особенностью среды GPSS является наличие стандартного отчета. В процедурных системах программирования (pascal, fortran,python и др.), отчеты формируются разработчиком. Стандартный отчет формируется автоматически системой GPSS World. В процессе выполнения программы собирается стандартная статистическая информация, которая выводится на печать по окончании моделирования[27,29, 37, 38, 42].

Содержание стандартного отчета (рис.1.5):

- Заголовок содержит название модели, дату и время запуска модели.
- Начало (START TIME) и конец (END TIME) модельного времени, количество блоков (BLOCKS), устройств (FACILITIES) и памятей (STORAGES) в модели.
- Список имен введенных в модели, где каждому имени (NAME) приписывается число (VALUE). Значения начинаются с 10000.000.
- Список блоков, содержащий следующую информацию:
 LABEL – метка блока,
 LOC – позиция блока в модели (Location),
 BLOCK TYPE – название блока на языке GPSS.
 ENTRY COUNT – количество вошедших в блок транзактов с момента последней команды CLEAR или RESET,

CURRENT COUNT – количество транзактов в данный момент в блоке,

RETRY – количество ожидающих транзактов на вход в блок.

- Список устройств, содержащий информацию:

FACILITY – название или номер устройства,

ENTRIES – количество транзактов, занимавших это устройство

блоками SEIZE или PREEMPT с момента применения команд CLEAR или RESET,

UTIL. – коэффициент использования устройства,

AVE.TIME – среднее время одного обслуживания,

AVAIL. – доступность устройства в момент окончания имитации,

OWNER – количество транзактов, связанных с устройством,

PEND – количество транзактов, ожидающих устройство для захвата по блоку PREEMPT,

INTER – количество транзактов, прерванных при обработке блоками PREEMPT,

RETRY – количество транзактов, ожидающих по разным причинам освобождения устройства,

DELAY – количество транзактов, ожидающих освобождения устройства в режиме приоритетного входа по блоку PREEMPT.

- Список очередей с информацией:

QUEUE – название или номер очереди,

MAX – максимальное количество содержащихся транзактов в очереди за весь период сбора статистики,

CONT. – текущее количество транзактов в момент окончания имитации,

ENTRY – общее количество входов в очередь,

ENTRY(0) – количество вышедших транзактов из очереди без ожидания,

AVE.CONT – среднее значение транзактов в очереди,

AVE.TIME – среднее время ожидания в очереди,

AVE.(-O) – среднее время ожидания, исключая транзакты, которые не задерживались в очереди,

RETRY – количество ожидающих транзактов, на вход в очередь по некоторым причинам.

Пример 2. В условиях примера 1 необходимо получить статистические данные об очереди заявок, ожидающих обслуживание на приборе.

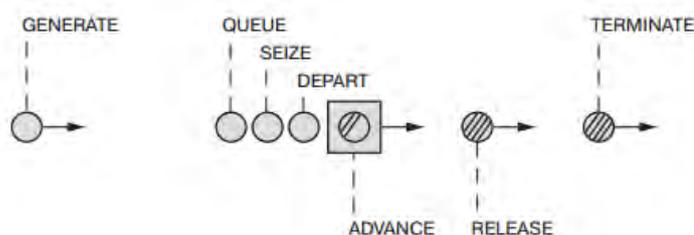


Рис.1.6.Схема, программа по решению задачи
одноканального СМО с очередью

Блоки занятия и освобождения очереди. Транзакт помещается в очередь в том случае, если некоторое устройство не в состоянии обслужить его немедленно (например, устройство занято, либо память переполнена). Статистические данные об очередях могут быть получены с помощью двух типов блоков:

QUEUE A,B – блок занятия очереди. А – имя очереди; В – количество мест в очереди, занимаемое транзактом.

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	813.630	7	1	0

NAME	VALUE
DEV	10001.000
SER	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
1	1	GENERATE	100	0	0	0
2	2	QUEUE	100	0	0	0
3	3	SEIZE	100	0	0	0
4	4	DEPART	100	0	0	0
5	5	ADVANCE	100	0	0	0
6	6	RELEASE	100	0	0	0
7	7	TERMINATE	100	0	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
DEV	100	0.613	4.991	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
SER	1	0	100	92	0.007	0.055	0.687

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
101	0	819.106	101	0	1		

Рис.1.7.Стандартный отчет по решению задачи
одноканального СМО с очередью

DEPART A,B– блок освобождения очереди. A – имя очереди; B – количество мест в очереди, освобождаемое транзактом.

Блок QUEUE может быть помещен перед любым блоком модели, в котором может возникнуть задержка. Отметим, что очередь к занятому устройству автоматически организуется пакетом моделирования независимо от того, есть в программе блок QUEUE или нет (рис.1.6).

Построение гистограмм

Система GPSS позволяет строить дополнительные статистические таблицы для получения частотных распределений определенных аргументов, которыми могут быть некоторые СЧА (например, времени задержки транзакта в отдельных частях модели; длин очередей; содержимого памяти и т.п.). У каждой таблицы имеются определенные области значений аргумента. Число попаданий аргумента в каждую из этих областей регистрируется системой автоматически. В конце эксперимента результаты в таблицах выводятся на печать.

Name TABLE A,B,C,D – команда описания таблицы частотного распределения. Name – имя таблицы, A – имя переменной, значение которой табулируется, B–левая граница первого интервала таблицы, C – ширина интервалов, D – количество интервалов.

Name QTABLE A,B,C,D – команда описания таблицы времени пребывания в очереди. Name – имя таблицы, A – имя очереди, B–левая граница первого интервала таблицы, C – ширина интервалов, D – количество интервалов.

MARK A – блок отметки времени. A – номер параметра транзакта, в который заносится момент времени входа транзакта в данный блок.

TABULATE A,B– блок табулирования. A – имя таблицы, в которую заносится табулируемая величина, B – весовой коэффициент, задающий число раз занесения величины в таблицу при каждом входе в блок.

Пример 3. Получить таблицу распределения интервалов заявок по равномерному закону в интервале от 0 до 100.

В таблицах печатается информация:

TABLE – имя или номер таблицы или Q-таблицы,

MEAN – среднее значение табулируемой величины,

STD.DEV – стандартное отклонение,

RANGE – левый и правый конец интервалов. Интервалы с нулевыми значениями не отображаются,

RETRY – количество транзактов, ожидающих по некоторым причинам в блоке TABULATE,

FREQUENCY – количество элементов, попавших в этот интервал,
 CUM.% – накопительный процент попавших элементов.

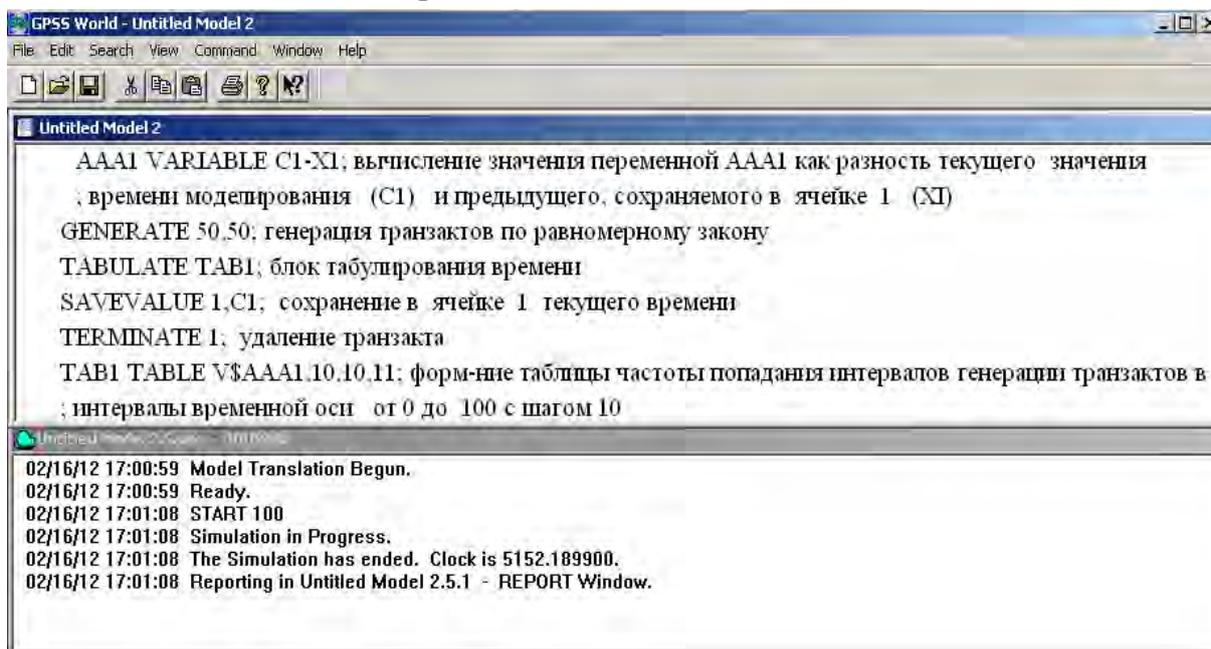


Рис.1.8. Транслированная программа

Thursday, February 16, 2012 17:01:08

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	5152.190	4	0	0

NAME	VALUE
AAA1	10000.000
TAB1	10001.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
	1	GENERATE	100	0	0	0
	2	TABULATE	100	0	0	0
	3	SAVEVALUE	100	0	0	0
	4	TERMINATE	100	0	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM. %
TAB1	51.522	31.161		0		
			10.000 -	10.000	12	12.00
			20.000 -	20.000	10	22.00
			30.000 -	30.000	11	33.00
			40.000 -	40.000	5	38.00
			50.000 -	50.000	7	45.00
			60.000 -	60.000	10	55.00
			70.000 -	70.000	9	64.00
			80.000 -	80.000	14	78.00
			90.000 -	90.000	9	87.00
			100.000 -	100.000	13	100.00

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
1	0	5152.190

FEC	XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
101		0	5209.899	101	0	1		

Рис.1.9. Результат моделирования в виде стандартного отчета

Для первоначального ознакомления с программной средой GPSS рекомендуем книгу Б.Я.Советова, С.А. Яковлева «Моделирование систем. Практикум», в котором подробно описаны методы и технологии работы в среде GPSS [37]. Для лучшего усвоения и приобретения навыков по построению и исследованию аналитических и имитационных моделей – учебные пособия [8, 21, 28, 29, 42, 44, 48].

Имитационная модель СМО представляет собой алгоритм, отражающий поведение СМО, т.е. отражающий изменения состояния СМО во времени при заданных потоках заявок, поступающих на входы системы.

Параметры входных потоков заявок - внешние параметры СМО. Выходными параметрами являются величины, характеризующие свойства системы - качество ее функционирования. Примеры выходных параметров: производительность СМО - среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени; коэффициенты загрузки оборудования - отношение времен обслуживания к общему времени в каждом ОА; среднее время обслуживания одной заявки. Основное свойство ОА, учитываемое в модели СМО, - это затраты времени на обслуживание, поэтому внутренними параметрами в модели СМО являются величины, характеризующие это свойство ОА. Обычно время обслуживания рассматривается как случайная величина и в качестве внутренних параметров фигурируют параметры законов распределения этой величины.

Задания на моделирование:

1. Изучить основные блоки среды GPSS World.
2. Построить модели производственных и непроизводственных систем и систем массового обслуживания (рис.5.20 - 5.24) из учебного пособия [27, 28] в среде объектно-ориентированного программирования GPSS World.
3. Провести компьютерное моделирование в зависимости от характеристик среды и начальных условий.
4. Провести обработку и анализ результатов машинных экспериментов и моделирования.

1.3. Среда имитационного моделирования GPSS Studio

В последнее десятилетие появились современные и технологичные среды моделирования (Simio, ExtendSim, AnyLogic и др.). Основным преимуществом их стала визуализация динамических процессов, графические возможности представления результатов и использования новых методов агентного моделирования. Но как показала практика, в мощи моделирования (функционалу реализации моделей, быстродействию вычислений и сложности моделируемых систем) GPSS World не только не уступает, а даже превосходит эти среды. Многочисленным пользователям GPSS хотелось продолжить использование этого удивительного языка. К сожалению, компания разработчик этого языка (Minuteman Software, США) прекратила его развитие.

Модернизацией и расширением возможностей GPSS World занимались многие компании и авторы [27, 38]. Существенный вклад в расширение возможностей инструментария GPSS World и наибольших успехов в этом направлении достигла компания ООО Элина-Компьютер [16, 17].

В 2002 году было подписано соглашение между компанией Minuteman Software и ООО Элина-Компьютер о продвижении системы GPSS World в России и странах бывшего СССР. Получив эксклюзивные права на распространение GPSS World компания Элина-Компьютер начала работу по модернизации. Первоначально был осуществлен перевод эксплуатационной документации.

В 2010 году была начата разработка расширенного редактора GPSS World, позволяющего осуществлять имитационные исследования на принципиально новом технологическом уровне:

- проектирование моделей в структурно-графическом виде;
- интеграция этапов ИМ;
- создание единой базы моделей и результатов;
- графическое представление результатов моделирования;
- возможности создания 2D анимации и т.д.

В результате, в компании «Элина-Компьютер» в 2011 году появились расширенный редактор и редактор форм GPSS World. Это был уже существенный шаг в направлении автоматизации исследований с использованием языка GPSS World.

К концу 2012 г. была завершена разработка второй еще более функциональной и мощной версии расширенного редактора GPSS World. С использованием возможностей данного редактора компанией было создано имитационное приложение для транспортной дирекции АНО Универсиады 2013, содержащей более 40 логистических моделей различных спортивных объектов.

Также в рамках реализации проекта GPSS в 2012 г. создан Сервер GPSS, программа позволяющая обеспечить управление удаленным использованием одной или несколькими лицензиями GPSS World в рамках локальной сети или сети Интернет. При этом на клиентских местах должен быть развернут расширенный редактор. Сервер GPSS имеет сервис ориентированную архитектуру, содержит ряд постепенно наращиваемых сервисов и создан на основе технологии облачных вычислений.

Состав редактора-студии:

- многофункциональный текстовый редактор GPSS моделей;

- графический редактор моделей - редактор схем: с его помощью, разработчик способен формировать структурную схему модели, двигаясь от частного к общему (снизу-вверх) или сверху-вниз (от абстрактных понятий к деталям);
- редактор форм ввода исходных данных в модель;
- редактор форм вывода результатов моделирования;
- подсистема автоматизации планирования экспериментов;
- подсистема анализа результатов экспериментов и серий экспериментов;
- генератор отчетов об исследовании;
- подсистема 2D и 3D анимации;
- и другие подсистемы, сервисы и функции

Затем последовательно, в течение 2013-2016 г., было выпущено несколько версий редактора. Было проведено большое количество исправлений и улучшений. За эти годы инструмент стал популярным среди пользователей, моделирующих с использованием языка GPSS World, и постоянно развивался. Расширенный редактор GPSS World стала профессиональной «мастерской» исследователя, обладающая набором инструментов, с которыми может работать пользователь при разработке моделей и проведении полномасштабного имитационного исследования.

А затем, после создания усовершенствованной методологии имитационных исследований, в дальнейшем расширенный редактор и редактор форм GPSS World были объединены в единый программный продукт – среду моделирования с названием, наиболее полно отражающее его суть и предназначение – GPSS Studio

В 2018 году среда GPSS Studio была включена в Единый реестр российских программ для электронно-вычислительных машин и баз данных (согласно Приказа Минкомсвязи РФ от 05.07.2018 №347, Приложение 1, № пп.83, реестровый № 4615).

В отличие от всех существующих в мире инструментов имитационного моделирования, среда GPSS Studio концептуально, еще в процессе создания, была нацелена на создание единого исследовательского пространства для пользователя. Среда моделирования охватывает все этапы исследования – от формулирования и постановки задачи, накопления и обработки исходных данных, конструирования модели и т.д., до выработки рекомендаций заказчику исследования или собственнику моделируемой системы. И поэтому, по мере развития теории моделирования и информационных технологий происходит быстрая, методически выверенная и без больших переделок реализация новых возможностей в рамках существующего базиса среды моделирования.

В настоящий момент в рамках среды реализованы возможность графического конструирования модели в виде иерархической схемы и последующей автоматической генерацией исходного кода модели на GPSS World. Также созданы мощные инструменты отладки модели. Затем на основе отлаженной модели конструируется интерактивное имитационное приложение, которое ориентировано на предметную область моделируемой системы и содержит инструменты анимации, графического представления, планирования экспериментов и оптимизации. Все имитационное исследование осуществляется в рамках единого проекта, исходные данные и результаты сохраняются в базе данных проекта. По результатам имитационного исследования может быть создан итоговый отчет с формулированием выводов и рекомендаций.

В той или иной мере в рамках среды автоматизировано большинство этапов исследования – от описания и постановки задачи, мониторинга и сбора данных, конструирования модели, создания приложения и так далее до проведения исследования и выработки практических рекомендаций Заказчику исследования или собственнику системы по повышению эффективности ее работы [16].

Для образовательных учреждений используется специально созданная и свободно распространяемая студенческая версия среды имитационного моделирования GPSS Studio (на момент публикации пособия это версия 1.6.3.0). Скачать текущую версию можно с сайта компании <http://elina-computer.ru/static/skachat.html> (рис.1.10). Также, для учебных целей было написано новое руководство пользователя GPSS Studio (550 стр.), в котором описаны технологии разработки имитационных моделей сложных систем и технологии проведения имитационных исследований.

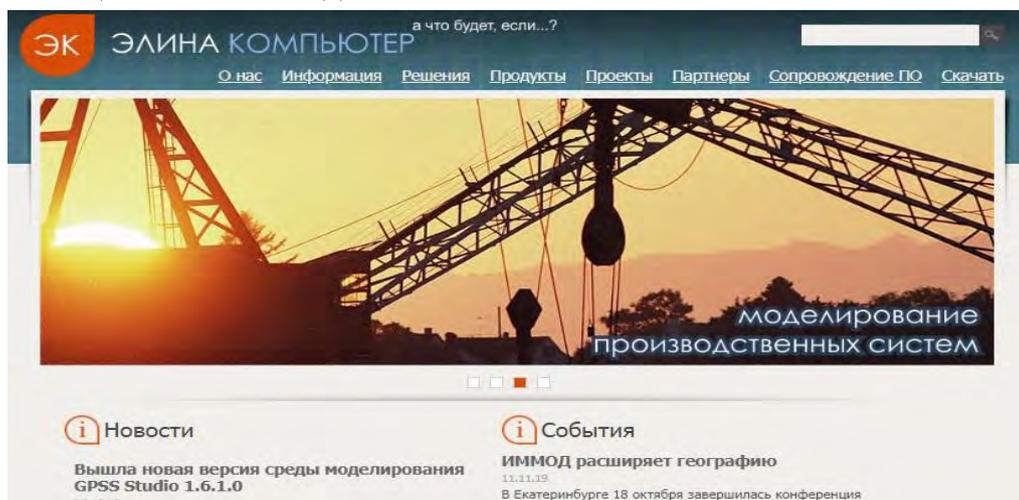


Рис.1.10. Интерфейс сайта компании ООО Элина-Компьютер

Для более детального ознакомления с возможностями GPSS Studio можно воспользоваться учебниками авторов инструментального средства [16, 26, 29].

1.3.1. Пользовательский интерфейс GPSS-Studio

После запуска GPSS-Studio открывается рабочее окно, в котором сразу можно приступить к проекту новой модели или открыть уже существующий проект (рис.1.11). Окно программы обеспечивает легкую навигацию по элементам дерева проекта, таким, как «текст модели», «графическая схема», «формы» и т.д.

Поскольку проект организован иерархически, то он отображается в виде дерева: сам проект образует верхний уровень дерева рабочего проекта, модели – следующий уровень, классы активных объектов и сообщений – следующий и т.д. Можно копировать, перемещать и удалять любые элементы дерева объектов, легко управляя рабочим проектом.

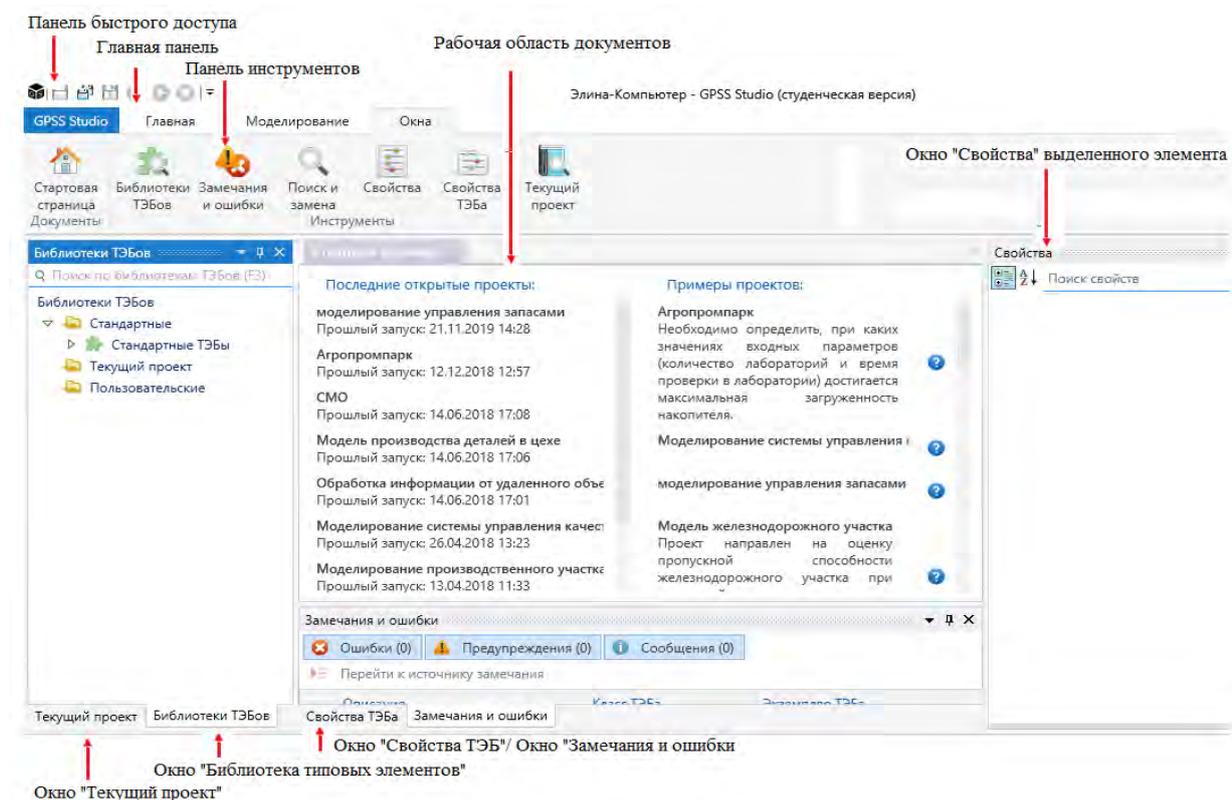


Рис. 1.11. Пользовательский интерфейс среды Gpss Studio

Главное меню расположено в верхней части окна и содержит команды для работы с программой, моделями, схемами и т.д. Главное меню имеет постоянные пункты: «Файл», «Редактирование», «Помощь»; и пункты, зависящие от контекста: «Вид», «Модель», «Журнал», «Схема», «Форма», «Моделирование», «Трассировка». Каждый контекстный пункт служит для работы с

определённым типом файлов (например - «Модель», «Журнал», «Схема», «Форма»). Он также зависит от выполнения определённых связанных друг с другом операций (например - «Вид», «Моделирование», «Трассировка»). Каждый пункт представляет собой выпадающее меню и содержит свой набор команд.

На панели инструментов отображаются некоторые, наиболее важные команды из главного меню. Практически все пункты главного меню имеют соответствующую панель инструментов. Так же как и в главном меню, доступность некоторых команд на панели инструментов зависит от контекста.

Работая с моделью, особенно большой, зачастую возникает необходимость в создании дополнительных файлов, или хранении документов, таких как техническое задание, данные предметной области и т.п. Для организации и структурирования файлов, необходимых для разработки модели, в программе имеется библиотека моделей. Библиотека моделей располагается в левой части главного окна программы. Чтобы перейти к ней, необходимо нажать на вкладку «Модели». Библиотека моделей служит для организации схем, моделей, результатов и других файлов. Она представляет собой иерархическое дерево, состоящее из папок, проектов и файлов.

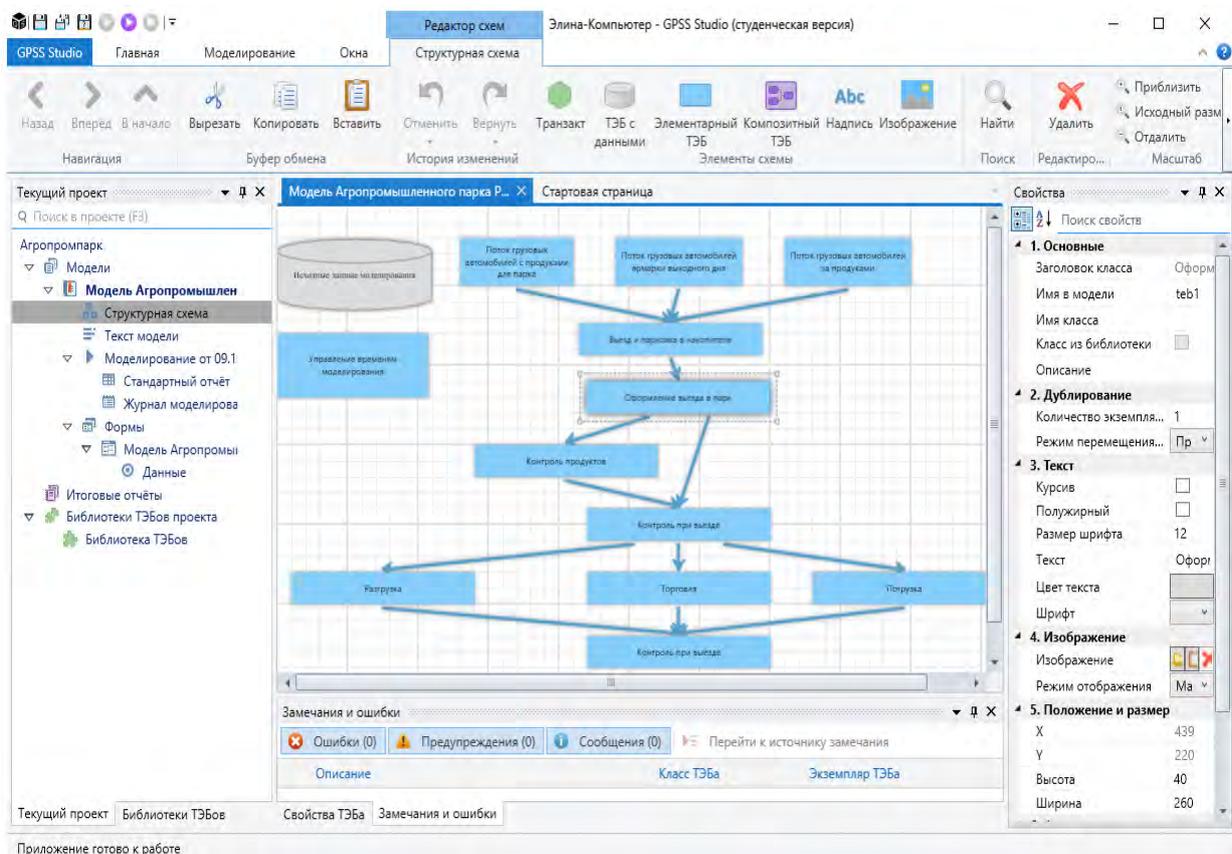


Рис. 1.12. Рабочие области главного окна программы

Каждый тип элемента имеет своё собственное назначение и контекстное меню, содержащее команды для работы с ним. Оно вызывается правой кнопкой мыши.

Папки и проекты могут содержать в себе другие элементы. Причём, если элементы присутствуют и родительский элемент свёрнут, то элементы не показываются, но рядом с иконкой элемента присутствует значок . Если родительский элемент раскрыт, то дочерние элементы видны, а значок имеет вид .

Меню среды GPSS Studio. Меню среды состоит из четырех горизонтальных подменю (рис. 1.13).



Рис.1.13. Меню среды GPSS Studio

При вводе команды **GPSS Studio** мы имеем общие вертикальные меню, позволяющую получить информацию о программном продукте, руководства по инструментальной среде GPSS World, и студии имитационного моделирования GPSS Studio, примеры проектов разработки моделей и инструмент настройки среды GPSS Studio.

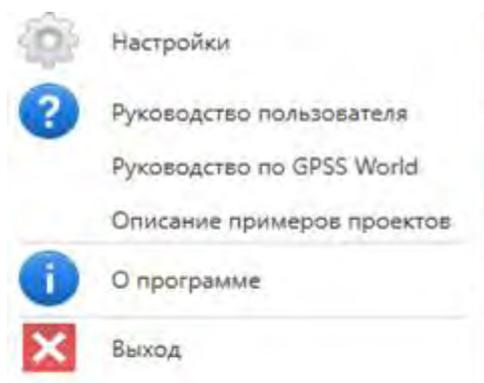


Рис.1.14. Меню GPSS Studio

Меню **Главная** представлена на рис. 1.15, здесь можно создавать, открывать и управлять файлами и проектами.

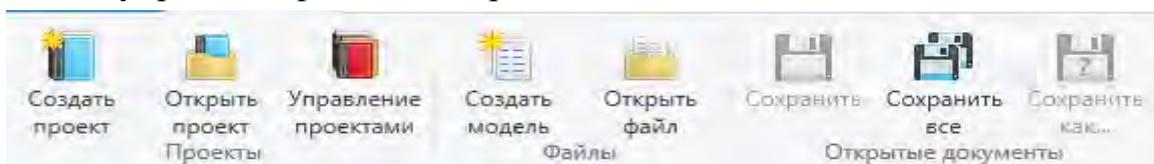


Рис.1.15. Меню Главная

Меню **Моделирование** первоначально является неактивным, это можно определить по бледности пиктограмм. Оно становится активным после разработки имитационной модели, при начале тестирования и запуске модели.



Рис.1.16. Меню **Моделирование**

Меню **Окна**. При открытии этого меню появляются возможности переключения на одно из 8 основных окон среды. Назначение и методология их использования описана в руководстве пользователя.

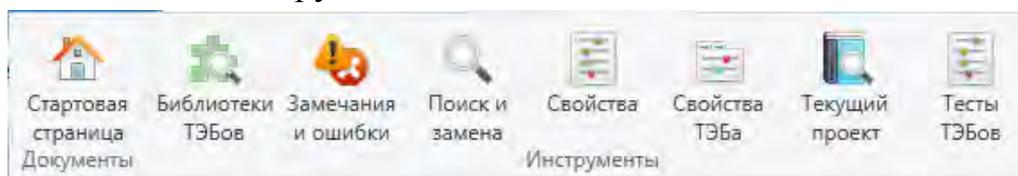


Рис.1.17. Меню **Окна**

Переход к окну «Библиотека ТЭБов», представлен на рис. 1.18.

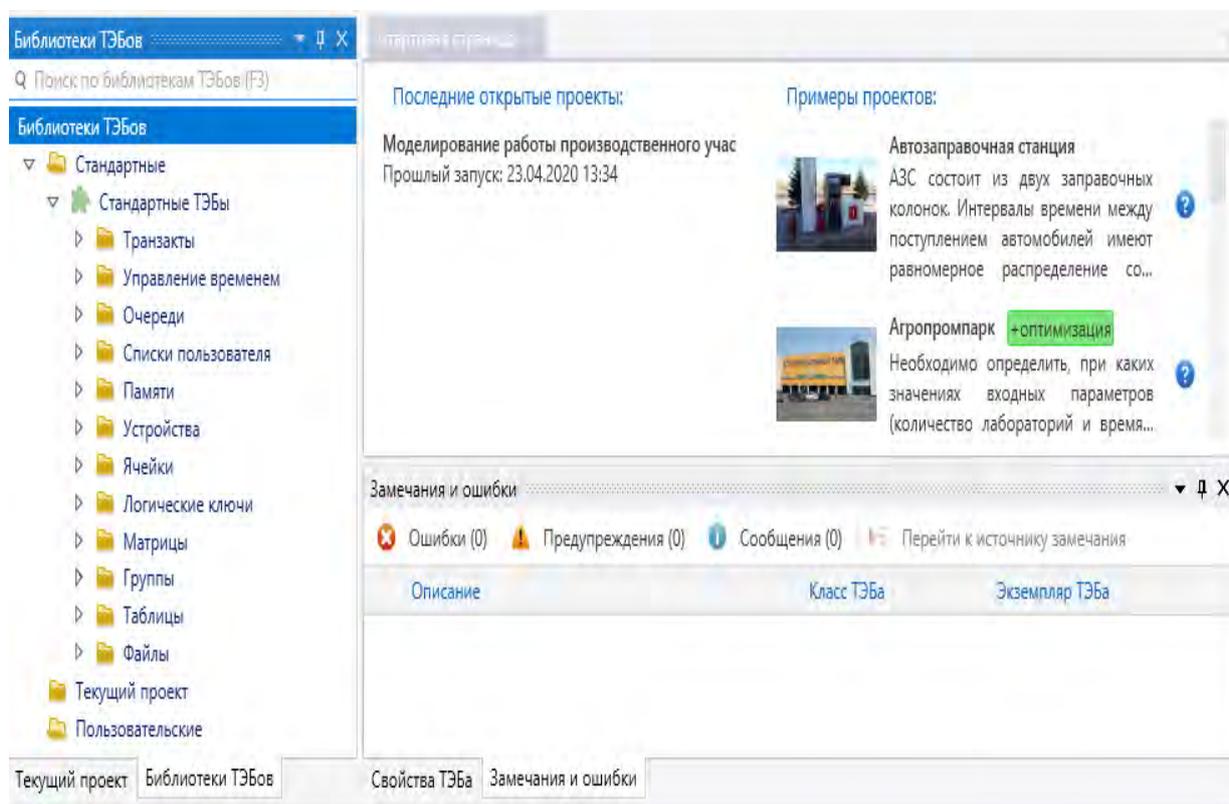


Рис. 1.18. Переключение на окно «Библиотека ТЭБов».

Проектирование имитационной модели начинается с создания проекта модели, например рис. 1.19. Здесь указывается путь где будет храниться модель, название проекта и его краткое описание.

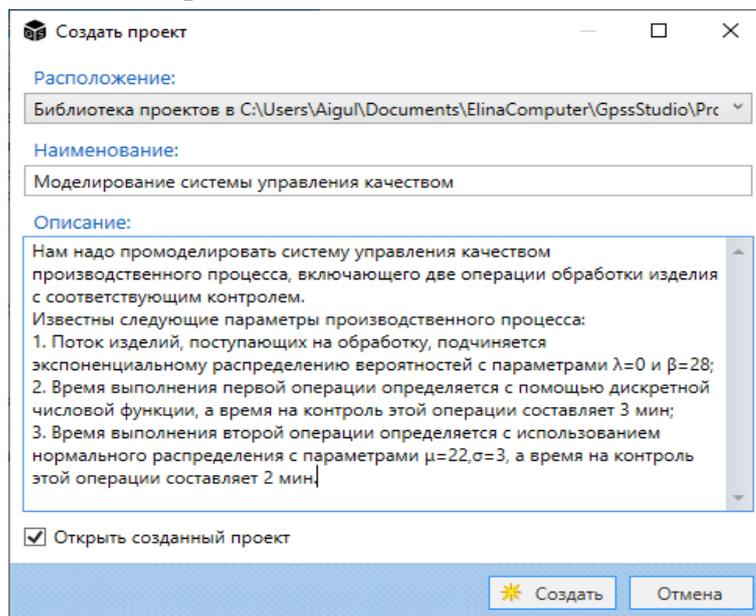


Рис.1.19. Создание проекта

После создания проекта становится доступен **Редактор схем**, для создания графической схемы модели и появляется новое меню **Структурная схема** с возможностями создания схемы модели с использованием 4 типов ТЭБов и элементов оформления (рис.1.20).

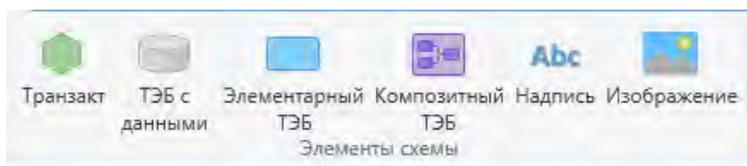


Рис. 1.20. Элементы схемы

ТЭБ с данными предназначен для описания архитектуры и значений данных модели. **Элементарный ТЭБ** («чёрный ящик») представляет конечный элемент схемы. Он содержит набор входов и выходов, для взаимодействия с другими элементами, а также модель GPSS World, которая определяет его поведение и состояние. ТЭБ можно настроить с помощью параметров. Входы и выходы ТЭБ-а ассоциируются с метками модели, а взаимодействие между ТЭБами выражается в движении транзактов между их входами и выходами. Т.к. ТЭБ представляет собой «чёрный ящик», разработчик имеет возможность указать тип транзактов, которые могут работать с определенным входом или выходом ТЭБа, чтобы согласовать логику работы множества элементов.

Третий вид – Композитный ТЭБ, состоящий из нескольких простых элементов. Он также имеет входы и выходы. Но вместо модели содержит под-схему из взаимосвязанных ТЭБов более низкого уровня.

Редактирование параметров любого на схеме ТЭБа осуществляется с помощью специального диалога. Диалог инициируется при следующих действиях:

- двойной щелчок по ТЭБу в редакторе схем;
- выбор команды «Данные» ТЭБа в контекстном меню ТЭБа в редакторе схем.

В зависимости от вида вызова заголовок окна может меняться, но набор доступных действий останется одним и тем же. Рассмотрим их подробнее.

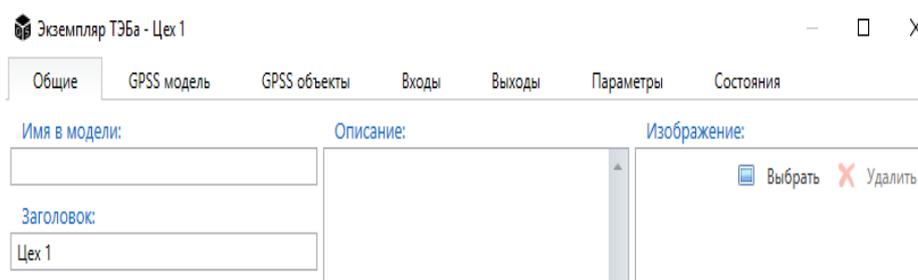


Рис. 1.21. Диалоговое окно редактирования параметров ТЭБа.

В GPSS Studio для каждого выделенного элемента модели существует индивидуальное окно свойств (расположенное справа), в котором указываются свойства (параметры) этого элемента. Для активации этого окна необходимо щелкнуть правой кнопки мыши по ТЭБу и справа в рабочей области схемы будет активировано окно со свойствами этого элемента. На рис. 1.22 приведен пример вывода этого окна для ТЭБа «Данные».

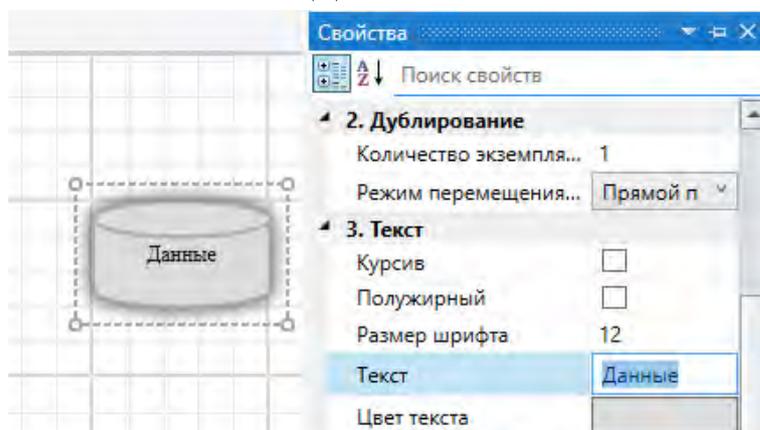


Рис. 1.22. Окно свойств ТЭБа «Данные»

Второй способ вызова окна индивидуальных свойств ТЭБа, это переход, после выделения элемента на схеме, последовательно ввести команды в главном ме-

ню: «Окна», а затем «Свойства» (рис. 1.23). При работе с окном свойств можно, например, изменить имя ТЭБа на более подходящее по смыслу. Пример такого действия (изменение имени ТЭБа «Данные» на имя – «Исходные данные»), приведен на рис. 1.24.

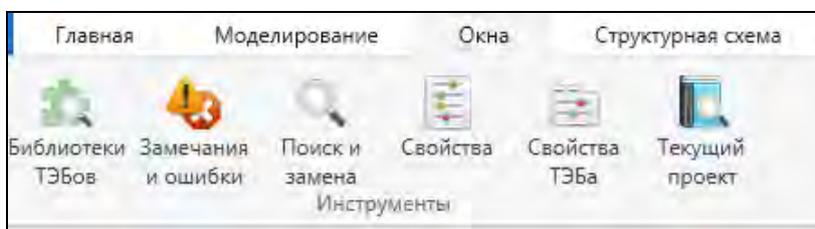


Рис.1.23. Вкладка «Окна»

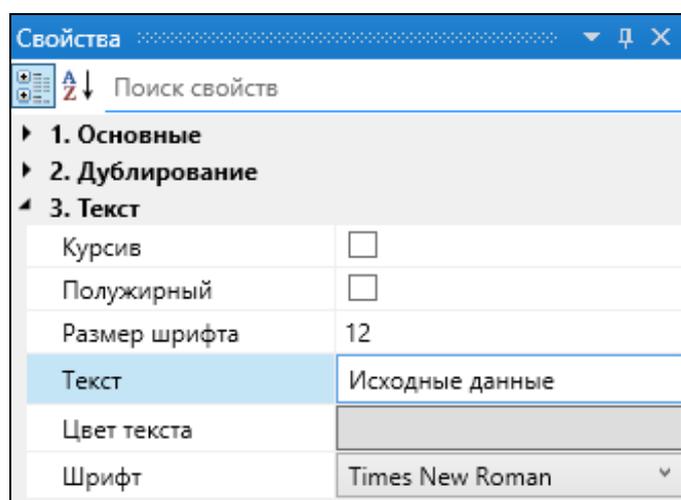


Рис.1.24. Вкладка «Свойства»

Рассмотрим сначала более подробно работу с другим окном ТЭБа «Данные» – «Свойства ТЭБа», который открывается внизу рабочей области схемы.

Двойным щелчком по созданному ТЭБу откроем это окно, и перейдем во вкладку «GPSS Объекты», далее введем команду «Добавить». В появившемся окне добавления, выберем один из 17 типов объектов GPSS, который мы хотим добавить. Допустим, это будет объект – функция.

В открывшемся окне добавления функции заполняем данные (**Ошибка! Источник ссылки не найден.5**):

- Тип GPSS объекта: Функция»;
- Имя в модели: Oper_1;
- Тип функции: D Дискретная функция;
- Аргумент функции: RN1;
- Список данных функции: 0, 0/.04, 9/.20, 13/.35, 17/.60, 25/.85, 35/1.0, 50.

Нажимаем «Добавить».

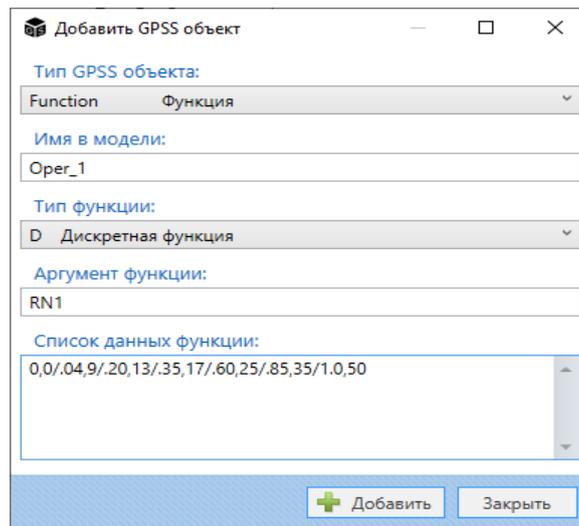


Рис.1.25. Добавление функции

В этой вкладке «Свойства» работают с индивидуальными и оформительскими свойствами ТЭБов на схеме параметрами: текстовое наименование элемента, шрифт, размер шрифта и цвет текста, его местоположение.

Как задать входы и выходы ТЭБа?

Для этого используем окно «Свойства ТЭБа» (выводится внизу рабочей области). Входов и выходов у элемента может быть как один, так и несколько.

Для добавления входа или выхода нужно кликнуть по ТЭБу правой кнопкой и выбрать соответствующий пункт и местоположение входа/выхода (указывается стрелками).

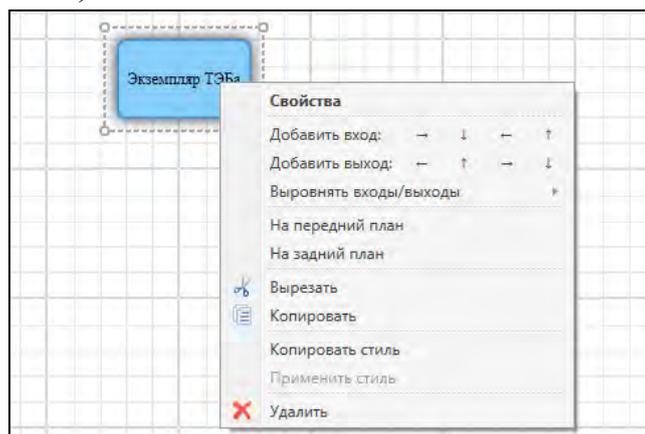


Рис. 1.26. Добавление входов/выходов ТЭБа

Используя вкладку «Входы/выходы» задаем количество входов и выходов и указываем их наименования.

Так же во время построения модели в обязательном порядке указываем ориентацию клемм элемента. В большинстве случаев это ориентация: Слева направо.

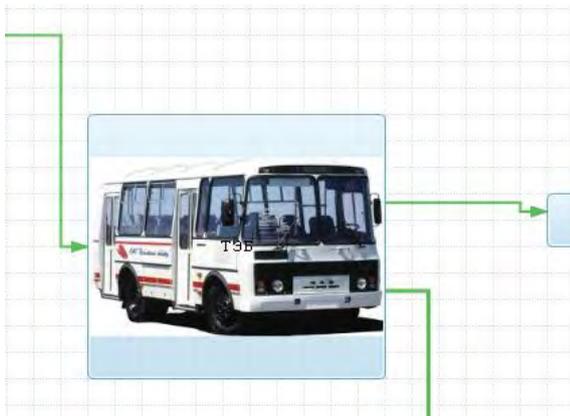


Рис. 1.27. Пример входов и выходов ТЭБа

Линии, которыми мы соединяем ТЭБы, также быть разными по типу, виду, толщине и цвету. Выбор определяется разработчиком.

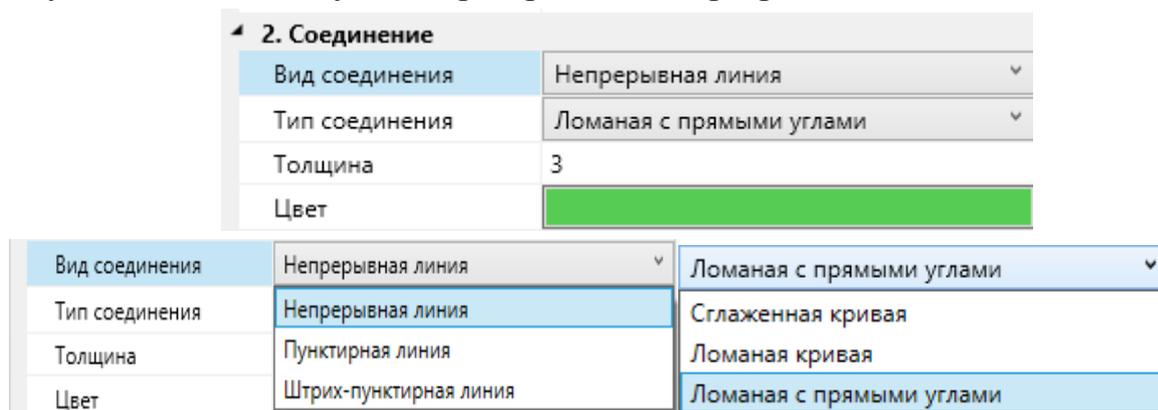


Рис.1.28

Важно! Может случиться так, что входы и выходы таким способом могут быть не добавлены. Тогда:

1. Двойной клик по нужному ТЭБу.
2. Выбираем интересующую вкладку »Входы» или «Выходы»).

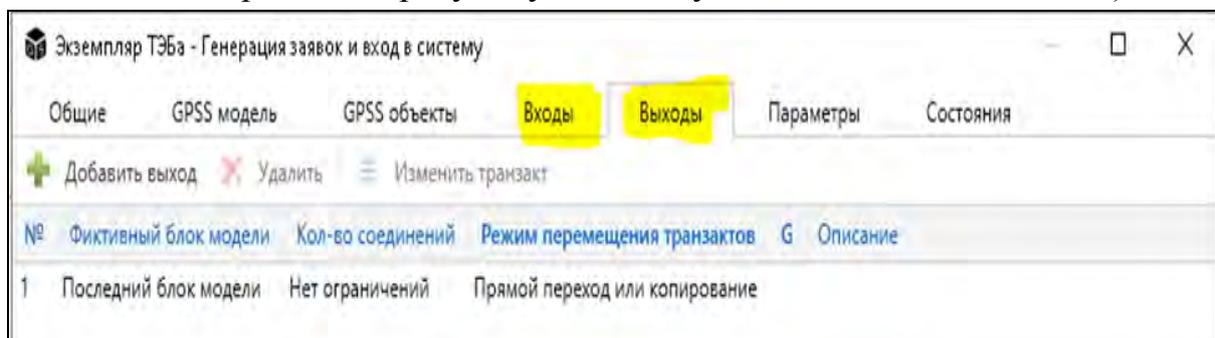


Рис. 1.29. Меню настройки ТЭБ-ов

3. «Добавить вход» / «Добавить выход», в выпадающем меню выбираем «Последний блок модели» для «Выхода» и «Первый блок модели» для «Входа», нажать клавишу «Enter».

Вкладка «GPSS модель» отвечает за поведение данного ТЭБа в ходе моделирования. Поэтому, в этой вкладке мы пишем код модели на GPSS.

При построении моделей используются любые блоки, необходимые для построения модели, например:

- *GENERATE*;
- *ADVANCE*;
- *TRANSFER*.

GENERATE Blocks (Блоки *GENERATE*) позволяет задать номер генератору случайных чисел. Блоки *GENERATE* вычисляют время между двумя входами – время для операндов A и B. Если вы определяете неположительный номер, то используется генератор случайных чисел под номером 1;

ADVANCE Blocks (Блоки *ADVANCE*) позволяет выбрать номер генератора случайных чисел – времени задержки для операндов A и B. Если вы определяете неположительный номер, то используется генератор случайных чисел под номером 1;

TRANSFER Blocks (Блоки *TRANSFER*) позволяет определить, какой генератор случайных чисел должен быть использован, когда блок передачи выбирает вероятностного адресата блока. Если вы определяете неположительный номер, то используется генератор случайных чисел под номером 1.

Чаще всего GPSS модель – это небольшая модель, чтобы было понятно при отладке, может быть даже просто один блок.

Например, для модели управления качеством имеем следующий проект в виде структурной схемы и GPSS модели для ТЭБа **Оборудование** (рис. 1.30)

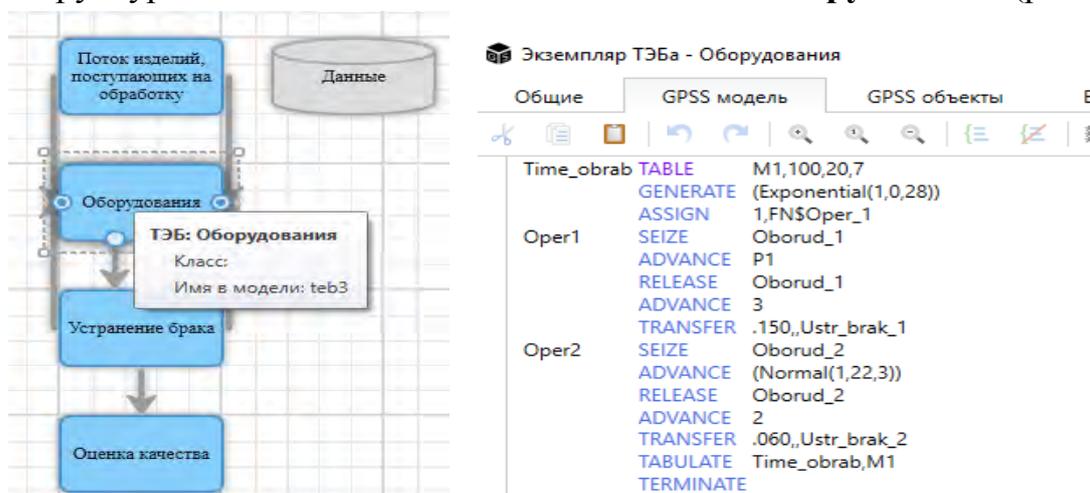


Рис. 1.30. GPSS модель ТЭБа 3

1.3.2. Пользовательский интерфейс редактора форм

После завершения разработки схемы из GPSS моделей отдельных ТЭБов автоматически собирается единая модель. Генератор моделей при обнаружении ошибок выдает подробную информацию о них. Чаще всего это наличие входов и выходов, их синхронизация. В некоторых случаях генератор автоматически добавляет дополнительные и необходимые GPSS блоки для логической связи ТЭБов.

Затем производится отладка собранной модели с использованием специального интерактивного отладчика. Главным признаком работающей модели является стандартный отчет. В GPSS Studio он русифицирован и интерактивен, пользователь может рассматривать его по отдельным разделам статистики, сортировать информацию и сохранять результаты в формате MS Excel. Анализируя стандартный отчет пользователь убеждается в адекватности работы модели, при необходимости внося те или иные изменения.

Таким образом, мы получаем отлаженную и работающую модель. Опыт использования GPSS World показывает, что в таком виде, даже при наличии схемы, модель не принесешь заказчику. Необходимо создание вокруг модели специальных диалогов по вводу данных и выводу результатов. Именно для решения этих задач в студии имеется редактор форм, который создает эти диалоги. В результате, появляется имитационное приложение с простым и понятным для исследователя интерфейсом. Кроме этого в рамках приложения создаются диалоги подготовки и проведения экспериментов с моделью.

Как уже говорилось, редактор форм используется для готовой и отлаженной модели. Он предназначен для разработки интерфейса ввода данных и вывода результатов моделирования в виде графиков, различных статистических характеристик изучаемой СМО, наличие этого редактора позволяет проводить имитационное исследование в среде приближенной к предметной реальной области. Это дает исследователю возможность не отвлекаться на не свойственные ему функции, сосредоточиться на главном – глубоком и качественном проведении имитационного исследования.

Редактор форм позволяет подключать экспертов из данной предметной области к профессионалам имитационного моделирования и совместно конструировать имитационное приложение. А далее, эксперты уже самостоятельно могут проводить непосредственно исследование – эксперименты, серии экспериментов, разрабатывать отчет, вырабатывать рекомендации. Все это существенно повышает качество и скорость исследования.

Редактор форм появляется, если мы справа в дереве текущего проекта

выберем строку – **Формы**, и введем команду «Создать форму» в контекстном меню этой строки (вызывается нажатием правой кнопкой мыши на строку). После создания формы мы работаем над оформлением ввода данных и вывода динамики хода эксперимента. Пример такой работы приведен на рис.1.31.

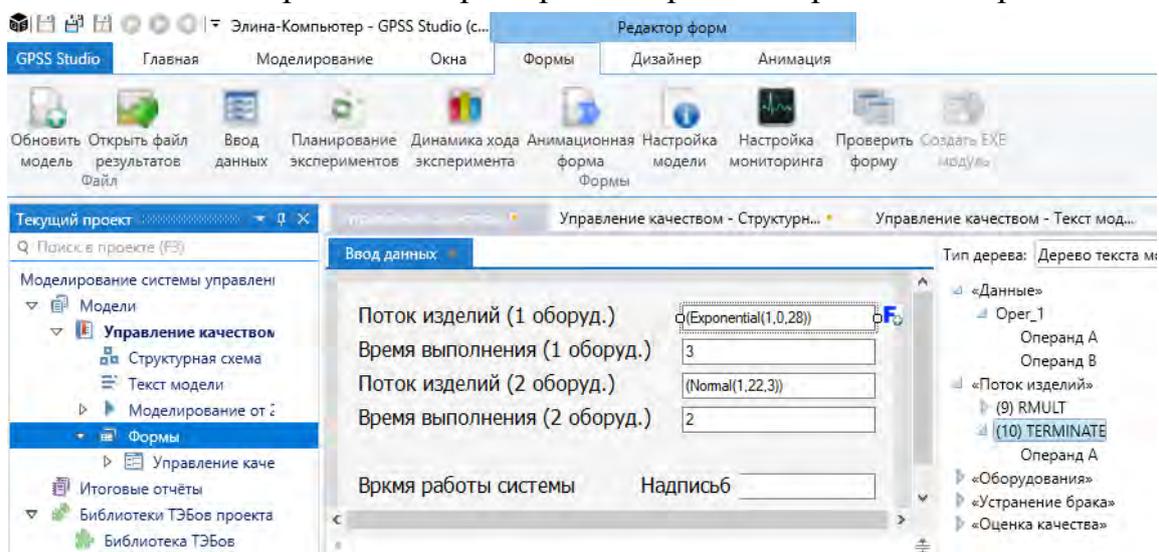


Рис. 1.31. Окно формы «Ввод данных» в редакторе форм

Меню работы с редактором форм расположено в верхней части окна, под главным меню. Оно открывается при выборе команды «Формы» и содержит команды для работы с формами «Ввод данных», «Планирование экспериментов», «Динамика хода эксперимента» и «Анимация». Кроме этого в меню имеются команды работы с файлами, настройки модели и мониторинга, а также команды создания и проверки работы сконструированных форм.

Описание правил и способов конструирования форм достаточно длительный процесс, лучше обратиться к «Руководству пользователя» и изучить все детали и нюансы конструирования форм.

Поэтому в данном руководстве рассмотрим лишь команды «Настройки модели» и «Настройки мониторинга» из меню работы с формами. Данные команды используются после создания очередной версии форм и необходимости проверки их качества и работоспособности. Так как при неправильных настройках модель может работать не корректно.

Настройка модели выбирается в меню команды «Формы/Настройка модели», под которой откроется окно информации о модели. При работе с данным окном пользователь может в поле названия модели дать название, которое будет заголовком окна, и будет фигурировать в результатах эксперимента. Рекомендуется заполнять это поле для лучшей идентификации экспериментов. Также необходимо, опираясь на физический смысл, выбрать единицу модель-

ного времени из 6 возможных значений (секунда, минута, день, месяц, год) и задать дату и время начала моделирования в модели.

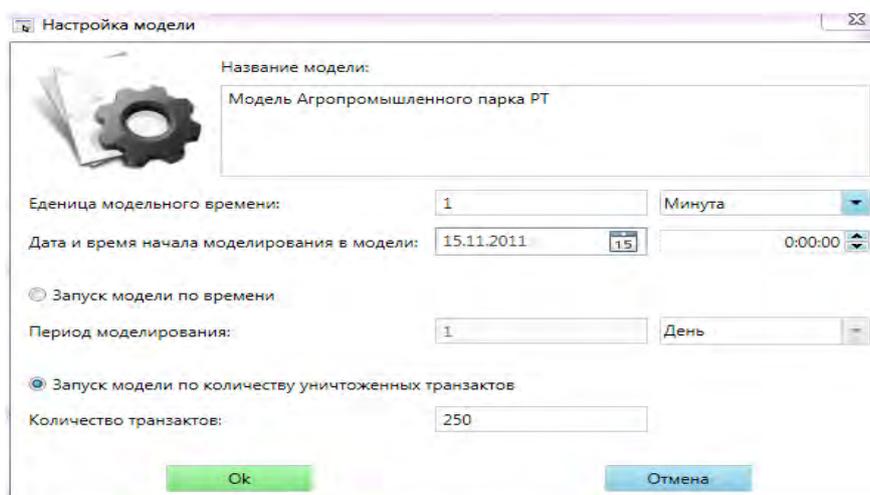


Рис.1.33. Окно настройки модели в имитационном приложении

Далее необходимо указать условие запуска моделирования.

Возможны два варианта:

1. Запуск модели по времени. Тогда необходимо указать период моделирования и его единицы измерения. При выборе этого варианта следует отметить, что операнды всех блоков TERMINATE будут очищены. Поэтому, если в модели необходимы эти значения операндов, этот метод запуска не подойдет.

2. Запуск модели по количеству уничтоженных транзактов. При этом варианте запуск будет происходить с помощью команды START с указанным числом. Поэтому в модели должен быть хотя бы один блок TERMINATE с непустым операндом A.

Чрезвычайно важным является настройка приложения на вывод необходимых результатов. В GPSS Studio, как и в GPSS World, накапливается огромный набор результатов для каждого объекта модели – очередей, устройств, памятей и т.д.

При вводе команды «Формы/Настройка мониторинга», будет выведено специальное окно настройки (рис. 1.34).

Динамический мониторинг необходим для задания параметров сбора данных о работе модели модели в процессе ее исполнения. Настройка параметров необходима для корректной (по замыслу автора модели) работы подсистемы сбора данных о состоянии объектов модели в процессе ее исполнения.

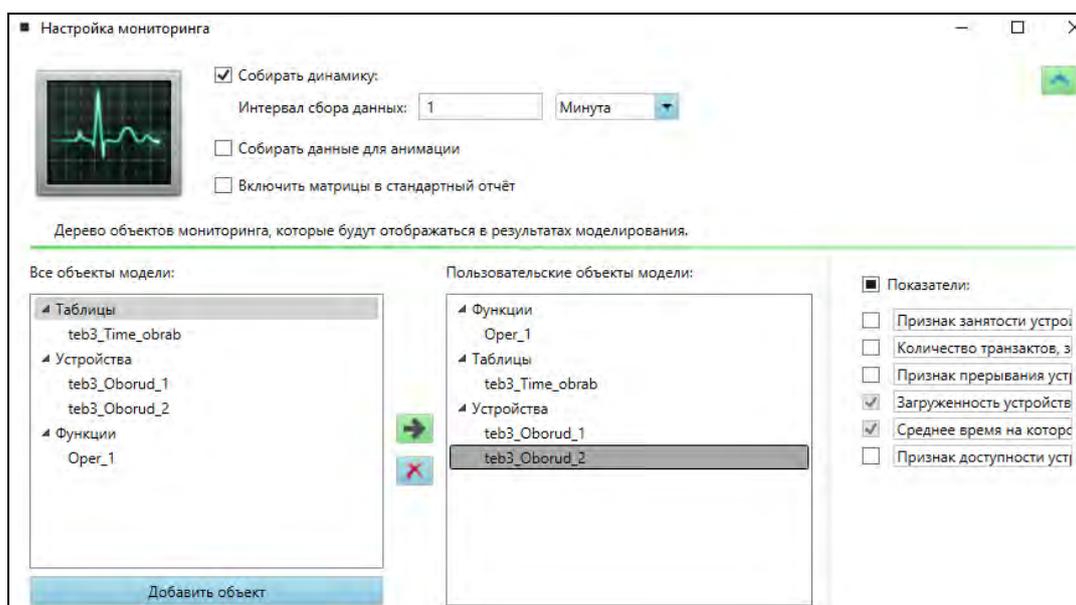


Рис.1.34. Окно настройки мониторинга результатов моделирования

Диалоговое окно настройки мониторинга состоит из двух панелей. Первая панель – "настройка периодичности сбора данных", вторая – "дерево объектов мониторинга, которые будут отражаться в результатах моделирования".

На первой панели нужно выбрать периодичность сбора. Рекомендуется излишне не детализировать сбор, так как это приводит, во-первых, к увеличению времени моделирования и, во-вторых, к нерациональному использованию памяти (результаты могут занимать десятки мегабайт на диске). Также можно установить флаг, собирать ли данные для анимации, если она в форме имитационного исследования создана.

Работа с панелью "дерево объектов мониторинга" происходит в трех полях: "дерево объектов модели", "дерево пользовательских объектов модели", "список показателей выбранных объектов".

Дерево объектов модели находится в левой части окна. В него входят все объекты, которые определил анализатор в модели. Использование редактора форм на примерах приведено в следующей главе.

После создания форм и настройки приложения вводятся команды проверки формы – «Проверка форма» или «Создать EXE модуль». В результате на экране будет выведено отдельное окно приложения. С помощью анализа созданных форм можно обнаружить ошибки и неточности, которые могут постепенно устранены. После этого, можно будет говорить, что имитационное приложение разработано.

Далее, на основе созданного приложения проводится имитационное исследование – планируются и проводятся эксперименты, результаты экспери-

ментов накапливаются в базе данных и постепенно формируется отчет об исследовании.

Более подробную информацию и примеры разработки имитационных приложений и проведения с помощью их исследований, можно получить из руководств, представленных в меню **GPSS Studio**. Использование этих руководств и нашего практикума позволят начинающему разработчику имитационных моделей быстрее освоить методологию дискретно-событийного моделирования и студии моделирования **GPSS Studio** по разработке имитационных установок сложных систем.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое моделирование и какие виды моделирования вы знаете?
2. Каковы этапы математического моделирования?
3. Каков процесс построения математической модели?
4. Что такое информационная модель объекта?
5. Какие виды информационных моделей Вы знаете?
6. Что мы понимаем под имитационным моделированием?
7. Какие разновидности имитационного моделирования Вы знаете?
8. Что такое дискретно—событийное моделирование?
9. Что такое система массового обслуживания?
10. По каким признакам классифицируются системы массового обслуживания?
11. Перечислите основные характеристики вероятностных характеристик системы массового обслуживания.
12. Какие инструментальные средства моделирования используются для моделирования систем массового обслуживания?
13. Охарактеризуйте систему имитационного моделирования GPSS World.
14. Что такое транзакт?
15. Опишите основные блоки языка GPSS World и приведите примеры программ на этом языке.
16. Расскажите об истории возникновения инструментария – студии имитационного моделирования GPSS Studio.
17. Опишите возможности студии-мастерской имитационного моделирования GPSS Studio.

ГЛАВА 2. УЧЕБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

2.1. Уровни имитационного моделирования

С изменением парадигмы подготовки специалистов и многоуровневости образовательного процесса (бакалавриат, магистратура, аспирантура) изменились и подходы подготовки выпускников высшего образования. В основе образовательных стандартов нового поколения лежат деятельностный и компетентностный подходы. У выпускников различных уровней образования и направлений подготовки должны сформироваться те или иные (общекультурные, общепрофессиональные, профессиональные, специальные и другие) компетенции. И выпускники должны быть готовы к различным видам профессиональной деятельности.

В связи с развитием информационных технологий в области имитационного моделирования и появлением колоссальных возможностей разработки виртуальных имитационных моделей практически во всех сферах человеческой деятельности возникает существенная необходимость подготовки кадров в области имитационных исследований.

Опыт подготовки бакалавров по направлению «Информационные системы и технологии» показывает, что формирование компетенций по проектно-конструкторской и научно-исследовательской деятельности особенно ярко проявляется при подготовке научно-исследовательских работ в виде курсовых, проектных и выпускных квалификационных работ. По учебному плану бакалавриата предусматривается не менее трех курсовых работ, мы определили их в рамках дисциплин:

Технологии программирования – 4 семестр, в котором студенты разрабатывают различные приложения системах программирования, здесь они делают первые шаги по исследовательской деятельности.

Моделирование процессов и систем – 6 семестр, в котором разрабатывают компьютерные аналитические и имитационные модели. Здесь определяются задачи, проводится обзор литературы и выбор инструментальной среды моделирования. Разработка компьютерных моделей проводится на уровне учебно-исследовательских моделей.

Проектирование и архитектура информационных систем – 7 семестр, разработка имитационных моделей проводится на более высоком уровне, здесь разрабатываются проекты согласно технологиям проектирования информационных систем.

По степени разработки и значимости использования имитационных моделей, имитационное моделирование можно подразделить на несколько уровней, предложенных в работах [15, 42, 43]:

- *учебное моделирование;*
- *научно-исследовательское моделирование;*
- *профессиональное моделирование;*
- *промышленное моделирование.*

Учебное моделирование – это разработка учебных моделей, выполняемых под руководством «учителя» (в учебном заведении, на курсах или просто в рабочей обстановке). Учебное моделирование можно подразделить на две ступени:

- *учебно-познавательное моделирование;*
- *учебно-исследовательское моделирование.*

При *учебно-познавательном моделировании* происходит передача знаний, освоение методов имитационного моделирования, здесь на алгоритме построения этих моделей «ученик» знакомится с основными методологиями и информационными системами и технологиями имитационного моделирования, приобретает знания и навыки разработки моделей. Как правило, эти модели являются не сложными по объему и логике, простыми в разработке, такие модели называются типовыми. Построение одной учебной модели укладывается в рамки учебного процесса в форме лабораторных и практических занятий. Эти модели являются прототипами для построения учебных моделей для других классов СМО и подобных объектов и систем.

Учебно-исследовательское моделирование отличается продолжительностью разработки. Разработка одной модели может занимать несколько занятий или выполняться в рамках курсовой работы по моделированию на 3 курсе и курсового проектирования на 4 курсе. При выполнении курсовых работ и проектов происходит первичное формирование научно-исследовательских навыков «ученика». Здесь идет обучение не по готовым разработкам, а по самостоятельно проектируемым и разрабатываемым учеником имитационных моделей по аналогии с другими классами СМО и аналогичными или подобными объектами и системами. Разработка как учебно-познавательных, так и учебно-исследовательских моделей проводится как с помощью языков моделирования типа GPSS, так и с помощью современных средств моделирования, таких, как AnyLogic, Arena, Simplex3, Simul8, FlexSim и др.

Следующий уровень имитационного моделирования – это *научно-исследовательское моделирование*, чаще всего выполняется на кафедрах учеб-

ных заведений в рамках договорных или чисто исследовательских работ. Эти модели создаются для проведения научных исследований, разработки проводятся в учебном заведении в рамках квалификационной или диссертационной работы. Научно-исследовательское моделирование можно подразделить на несколько ступеней (этапов), связанных с уровнем образования и типом учреждения:

- выполнение квалификационной работы на уровне бакалавриата;
- магистерская квалификационная работа, выполняемая в рамках исследовательской темы в учебном заведении или академической темы в исследовательском учреждении, идеальный вариант, если они совмещаются;
- выполнение научно-исследовательской квалификационной работы на уровне аспирантуры в учебных заведениях или на научно-исследовательских лабораториях академических институтов.

Модели, разрабатываемые «учениками» на этих уровнях образования бывают достаточно сложными и функциональными и чаще всего имеют научную значимость и практическую ориентированность.

Научно-исследовательская работа на уровне бакалавриата является квалификационной. Здесь чаще всего разработчик демонстрирует компетентность в области разработки информационных систем, в частности имитационных моделей. В выпускной работе представляется анализ предметной области, проект имитационной модели, реализация имитационной модели в выбранной среде моделирования и некоторые результаты машинных экспериментов.

Магистерская работа, хотя и является квалификационной, может проводиться с элементами начальных научных изысканий. В этих целях происходит модификация имитационной модели, разработанной на уровне бакалавриата согласно актуальности исследования, практической значимости, на уровне проектирования и разработки модели и адекватности разработанной имитационной модели реальной системе или разрабатывается новая имитационная программная установка для новой темы исследования, соответственно проходят все этапы имитационного исследования, в котором представлена достаточная компетентность по разработке имитационных моделей. После тестирования и отладки разработанной имитационной установки проводятся научно-исследовательские работы согласно стратегическому и тактическому планированию машинных экспериментов, а результаты обработки представляются в виде научных публикаций на разных уровнях (семинарах, конференциях, в журнальных статьях). На этой ступени подготовки кадров идет формирование компетенций «ученика» как научного исследователя.

Характерная особенность научно-исследовательского моделирования заключается в том, что разработчик является исполнителем, а заказчиком выступает учебное заведение или академический институт, в рамках которого выполняется государственная или академическая тема исследования. Разработчику представляется достаточная свобода в выборе средств моделирования и направления исследований. Он разрабатывает модели по своему усмотрению в избранных им средах моделирования, проводит выполнение работ по моделированию, оценивает результаты этих работ и представляет результаты исследований научной общественности.

Научно-исследовательская работа в полном объеме реализуется на ступени аспирантуры. Длительность обучения в аспирантуре составляет по новым стандартам 4 года. За это время обучаемый разрабатывает класс имитационных и аналитических моделей, на которых проводятся полномасштабные научные исследования, решаются актуальные научные и производственные задачи в выбранной области исследования.

Условием научности и диссертабельности проводимых исследований в области имитационного моделирования является присутствие научной аналитической составляющей, которая представляется в виде класса аналитических моделей, являющиеся базой имитационной модели или предельными случаями, которые могут подтвердить результаты имитационных исследований[30]. Иначе имитационные модели будут представлять технологическую цепочку работ в рамках решения производственных задач и перехода на уровень профессионального производственного моделирования.

Уровень *профессионального моделирования* предполагает наличие заказчика, который с большим пристрастием относится к результатам моделирования, так как платит за это моделирование деньги в рамках соответствующих договорных отношений. Создание имитационной модели проводится командой разработчика, которая профессионально занимается подобными работами. С заказчиком согласовывается техническое задание на разработку и требования к имитационной модели. Успех всего имитационного проекта зависит от того, насколько модельеру удаётся оправдать ожидания заказчика в смысле полноты и точности результатов моделирования. Модели, как правило, не передаются заказчику, а просто демонстрируются в процессе презентации проекта, чаще всего с применением анимации. Основные результаты моделирования передаются заказчику в виде обычного отчёта. Проект имеет характер «разовой кампании», и после её завершения созданные модели отправляют «в архив». По подобному сценарию очень часто проходят работы по моделиро-

ванию, связанные с проектными или консалтинговыми работами. Заказчик не всегда интересуется применённым в проекте симулятором, но тип симулятора, как правило, указывается в тексте договора.

Верхний уровень имитационного моделирования это заказное *промышленное моделирование*. Здесь задача, функциональные показатели и возможности модели, внешний интерфейс определяется заказчиком. Промышленное моделирование предполагает обязательную передачу модели заказчику с расчётом на её систематическое применение, т.е. имитационные промышленные модели сдаются «под ключ». При промышленном моделировании сценарии передачи модели заказчику может быть проведено поэтапно:

1. На первом этапе имитационное исследование, при котором предусматривается передача заказчику только результатов имитационных экспериментов; заказчик при этом может вообще не знать, с помощью какого симулятора проводилось моделирование.

2. На втором этапе заказчику передаётся готовая модель (или библиотека моделей) с расчётом на то, что заказчик будет сам в дальнейшем планировать и проводить имитационные эксперименты. На этой стадии не предусматривается возможность изменения промышленной модели. На экзешной (*.exe) модельной установке моделирование можно проводить только варьированием параметров модели и исходных данных.

3. На третьем этапе заказчику передаётся «всё в полном комплекте», т.е. «имитационное исследование», «готовая модель», симулятор и вся «техника и технология» создания определенного класса моделей; составной частью имитационного проекта является обучение заказчика, в результате которого он должен научиться работать с симулятором и создавать модели хотя бы для определенного класса систем (иногда – на базе специально созданной для этих целей библиотеки модулей).

Промышленные модели чаще всего являются моделями, параллельно встроенными в производственный процесс. Модель запускается оператором (планировщиком, аналитиком и т.п.) по мере необходимости в ручную, т.е. в режиме offline. Возможно также применение моделей в контуре оперативного управления объектами, когда запуск модели производится автоматически в режиме online.

Учебное моделирование проводится на лабораторных занятиях по дисциплине «Моделирование процессов и систем» или «Имитационное моделирование», здесь происходит освоение технологий разработки компьютерных моделей.

В данной главе для разработки учебных моделей как в расширенном редакторе GPSS World, так и в среде GPSS Studio мы использовали решения ряда классических задач, изложенных в учебных пособиях по GPSS [21, 27, 28, 32, 37, 40, 42, 48, 50]. Мы взяли постановку этих задач и привели технологии решения (построения имитационных моделей) в студии мастерской имитационного моделирования GPSS Studio в целях учебного моделирования. Выполнив ряд лабораторных работ, можно освоить технологии учебного моделирования в среде GPSS-Studio. Лабораторные работы предполагают пошаговое выполнение заданий, которые, в конечном счете, приводят к разработке имитационной модели в среде GPSS-Studio.

Модернизация этих учебных моделей и проведение исследований на них являются инновационными шагами для студентов в освоении методологий дискретно-событийного моделирования в редакторе-студии GPSS и могут быть отнесены к учебно-исследовательскому моделированию.

2.2. Моделирование работы автозаправочной станции

Постановка задачи[28]. Допустим, нам надо промоделировать работу автомобильной заправочной станции (АЗС), которая имеет две заправочные колонки. Известны следующие параметры работы АЗС:

- поток автомобилей, поступающих на заправку, подчиняется экспоненциальному распределению вероятностей с параметрами $\lambda = 0$ и $\beta = 6,5$;
- время заправки на первой колонке составляет $10 \pm 2,5$ мин, а на второй – 13 ± 4 мин;
- автомобиль подъезжает к колонке, которая не занята обслуживанием другого автомобиля.

Требуется промоделировать работу АЗС в течение рабочей смены – 8 ч – и определить параметры функционирования АЗС:

- коэффициент загрузки каждой колонки;
- среднее время обслуживания в каждой колонке;
- максимальное, среднее и текущее число автомобилей в очереди к каждой колонке;

Задание на разработку имитационной установки

1. Разработать имитационную установку моделирования в среде моделирования GPSS Studio.

2. Разработать пользовательский интерфейс имитационной установки для проведения моделирования (окно «Ввода данных», окно «Динамики хода эксперимента») по образцу приведенной в п. 2.2. и в справочном руководстве по

среде моделирования GPSS Studio (вызывается выбором команды GPSS Studio) в главном меню среды.

Создание имитационной модели процесса

Опыт разработки имитационных моделей в среде GPSS Studio показывает, что наиболее оптимально пошаговая разработка полной модели и можно выделить от десяти до 15 шагов разработки. Ниже приведены рекомендуемые шаги разработки имитационных моделей в среде GPSS Studio.

Шаг 1. Создание имитационного проекта.

Шаг 2. Описание имитационного проекта.

Шаг 3-5. Конструирование общей структурной схемы и GPSS моделей в ТЭБах.

Шаг 6. Создание ТЭБа для ввода глобальных данных и имен.

Шаг 7. Создание механизма управления временем моделирования.

Шаг 8. Автоматическая генерация текста и трансляция модели.

Шаг 9. Первое исполнение и логическая отладка модели.

Шаг 10. Начало конструирования имитационного приложения.

Шаг 11. Настройка интерфейса ввода данных

Шаг 12. Разработка пользовательского интерфейса слежения за ходом эксперимента

Шаг 13. Планирование экспериментов.

Шаг 14. Настройка модели и проведение машинного эксперимента.

В данной работе приведен пример разработки имитационной модели «Автозаправка» в среде GPSS Studio согласно вышеприведенному пошаговому алгоритму.

Шаг 1. Создание имитационного проекта.

Открываем среду моделирования GPSS Studio и выбираем в меню команду «Главная». В открывшемся меню выбираем и вводим команду «Создать проект».

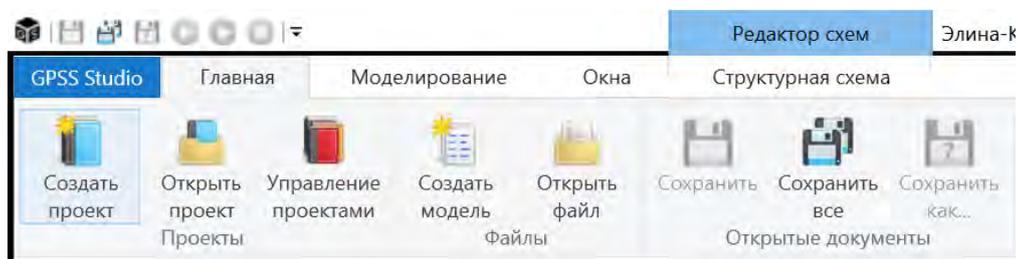


Рис. 2.1

В результате откроется окно создание проекта. Вводим название проекта и его краткое описание (Рис. 2.2).

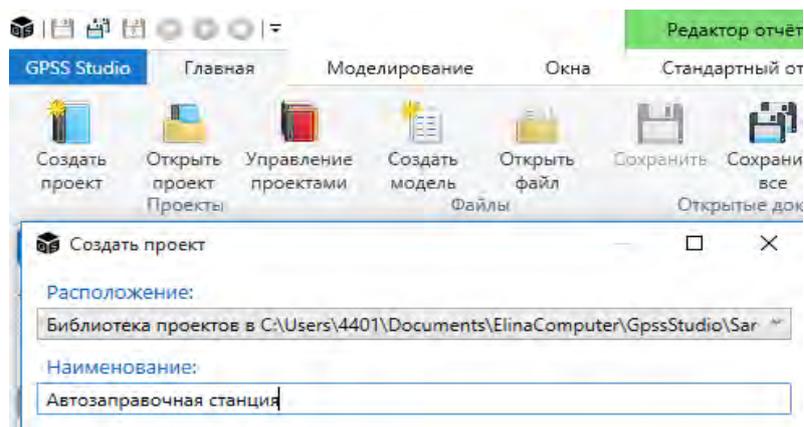


Рис. 2.2

Шаг 2. Описание имитационного проекта.

После заполнения всех необходимых данных по проекту, создается текущий проект и высвечивается дерево проекта, которое содержит ряд стандартных разделов. Например, «Структурная схема», «Текст модели», «Моделирование» и «Формы» (Рис. 2.3). В процессе работы над проектом в это дерево добавляются новые разделы, например, «Стандартный отчет», «Журнал моделирования». Пользователь, используя мышь, может по желанию переходить от одного раздела к другому. А справа от дерева, в соответствии с выбранным разделом, меняется содержимое рабочей области.

Проще и наглядней, разработку модели начинать с реализации алгоритма работы АЗС в виде графической структурной схемы.

АЗС состоит из двух колонок, поэтому алгоритм заправки автомобилей для нашей задачи представляется следующим образом, автомобили подъезжают на заправку, если колонки заняты, автомобиль встает в очередь, при освобождении одной из колонок подъезжает к колонке и заправляется, после заправки уезжает из автозаправочной станции.

Шаг 3. Конструирование структурной схемы – первые 2 ТЭБа

Переход к началу конструирования структурной схемы осуществляется выбором раздела «Структурная схема» в дереве проекта (рис. 2.3).

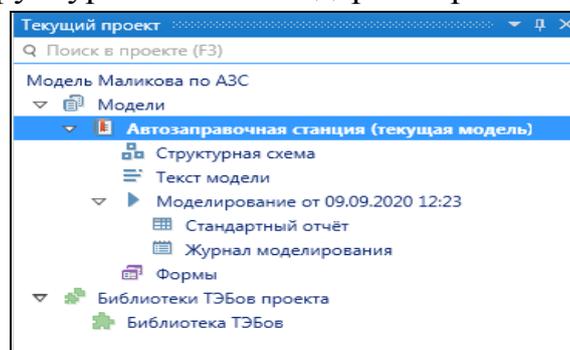


Рис. 2.3

Схема АЗС, согласно описанному выше алгоритму, состоит из блока поступления автомобилей, блока задержки (накопитель и очередь), 2 блоков заправки (колонок) и блока выезда с заправки.

Построим схему заправки по данному алгоритму. Для этого в рабочей области схемы создадим блок, кликнув мышью на команду в меню структурной схемы «Элементарный ТЭБ». В результате на схеме появится блок, который после его выбора и при нажатой правой кнопке, вы можете перетащить в нужное место схемы. Затем, используя задание индивидуальных свойств ТЭБа, дадим ему название нашего первого элемента по алгоритму - «Поступление автомобилей на заправку» (рис. 2.4)

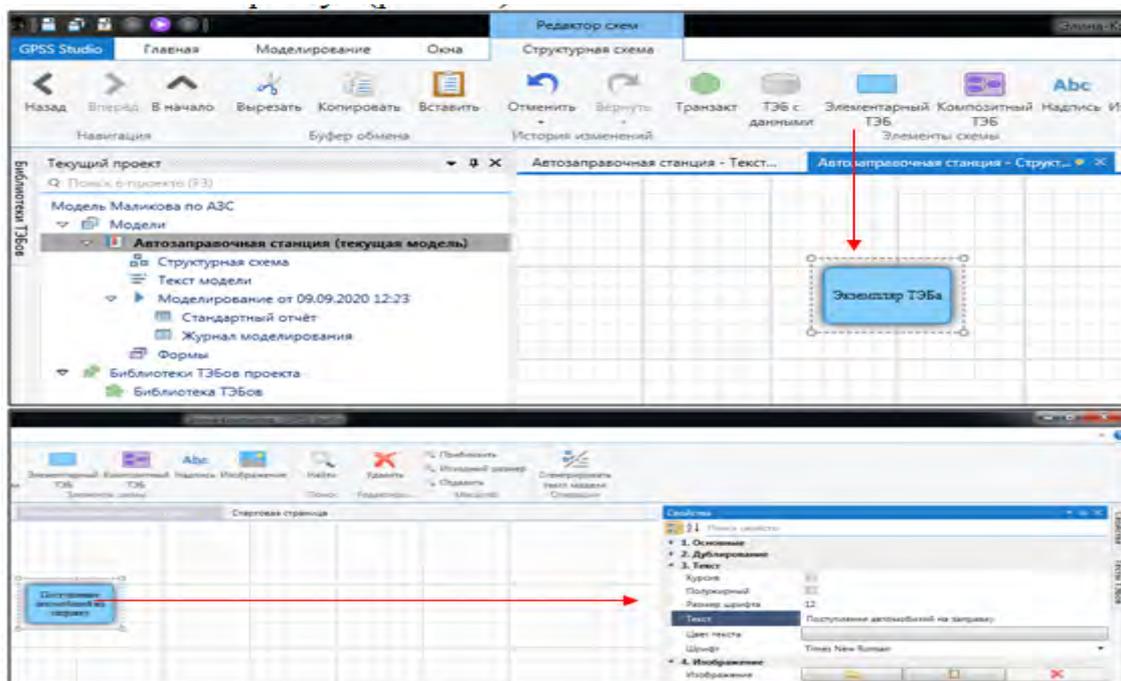


Рис. 2.4

При необходимости задаем и другие свойства ТЭБа, используя возможности окна общих (рис. 2.5) и индивидуальных (рис. 2.4) свойств, описанных в разделе 1.

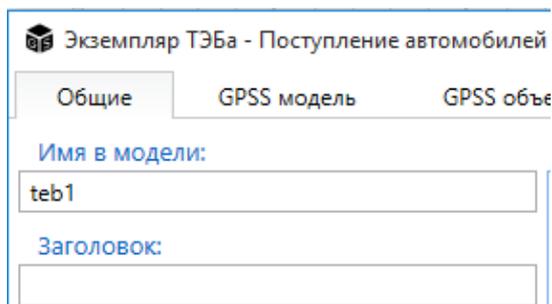


Рис. 2.5.

В частности, необходимо в общих свойствах ТЭБа задать ориентацию входов и выходов для введенного блока. Техника задания входов и выходов

также описывалась в разделе 1. В случае первого блока – это стрелка «Сверху вниз» в контекстном меню.

Кроме этого блок поступления автомобилей обладает своей логикой, которую через окно общих свойств, необходимо описать в виде GPSS модели. Генерацию поступления автомобилей (в терминах GPSS World автомобиль - это транзакт) промоделируем в виде экспоненциального закона, опишем очередь к заправке и маршрутизатор выбора освободившейся колонки – блок перехода в режиме «Both» (Рис. 2.6). Необходимо помнить, что все имена объектов, использованные в отдельных моделях и используемые в моделях других ТЭБов, должны быть описаны через глобальный блок «ТЭБ данных». Мы про него скажем подробно немного позже.

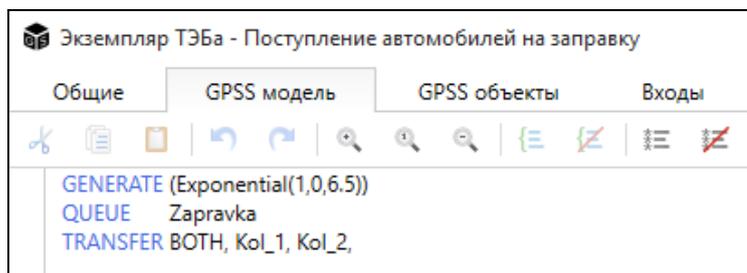


Рис. 2.6

Опишем параметры выходов из данного блока, их будет два, через вкладку «Выходы» в окне общих свойств ТЭБа (рис. 2.7).

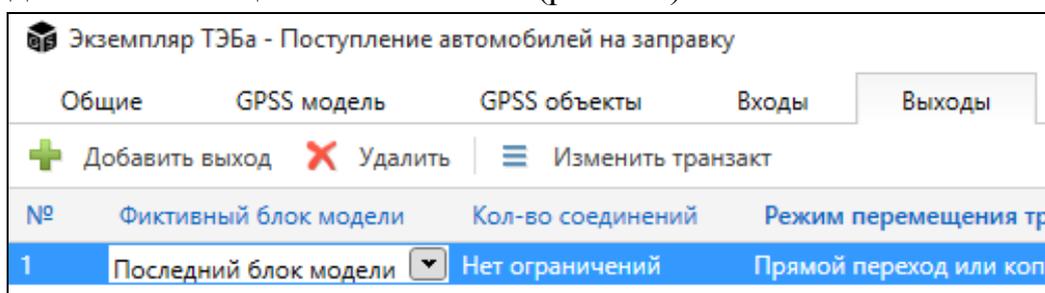


Рис. 2.7

Внимательно проверяйте (и, при отсутствии, повторно вводите) указанные Входы и Выходы, иногда программа чувствительна к передвижению курсора и не с первого раза запоминает значения в данных вкладках общих свойств ТЭБа.

Далее создаем два следующих ТЭБа модели - для первой и второй колонки, со следующими параметрами:

Для первой колонки процесс создания ТЭБа, задания его свойств, модели и соединения выхода ТЭБа «Поступления автомобилей на заправку» со входом ТЭБа «Первая колонка» - отображен на рис. 2.8 – 2.10. Отметим, что для соединения двух ТЭБов необходимо мышью кликнуть на выход первого ТЭБа и потянуть мышью (при нажатой левой кнопке) по направлению к входу второго ТЭБа. Как только курсор мыши сравняется с входом и вы отпустите левую кнопку мыши, соединение зафиксировано. Используя окно индивидуальных

свойств элемента, можно выделив установленное соединение мышью, задать его цвет, толщину, тип линии и т.д. В нашем случае мы выбрали коричневый цвет с толщиной 3.

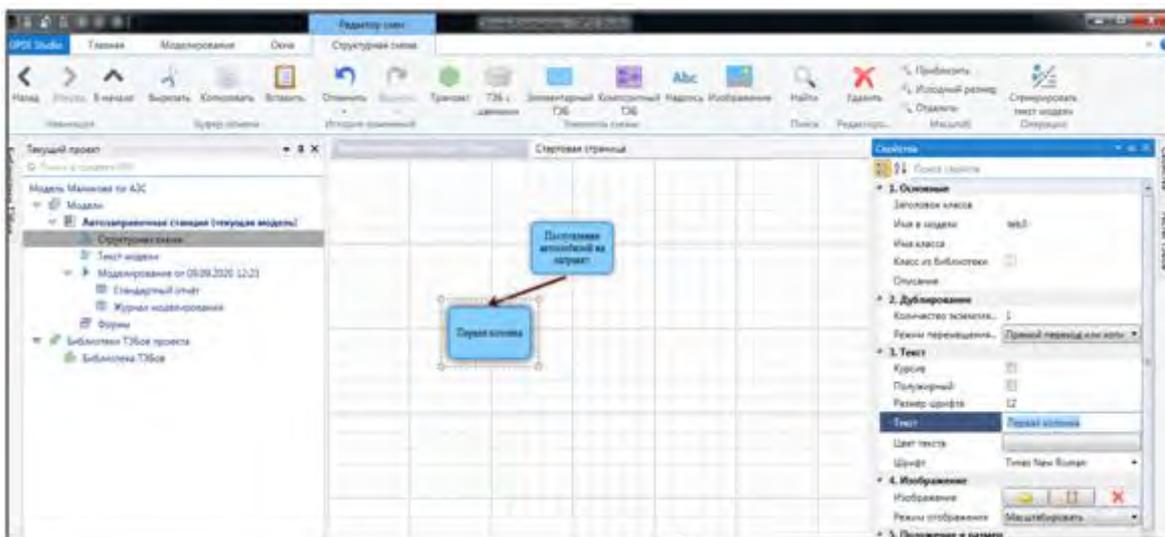


Рис. 2.8

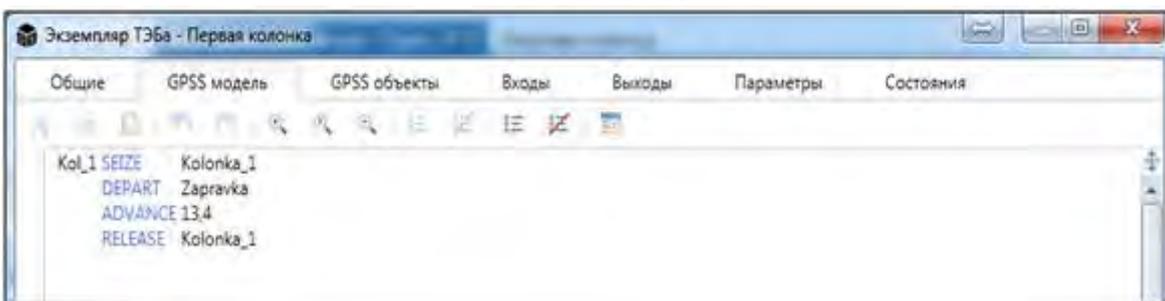


Рис. 2.9

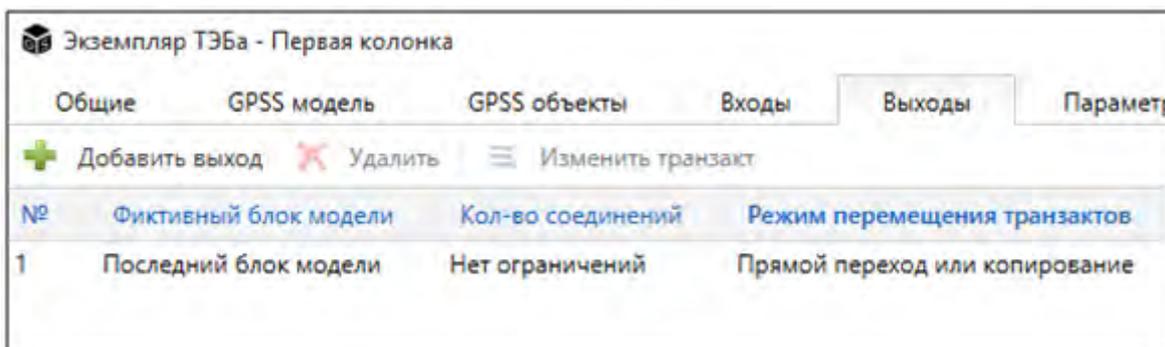


Рис. 2.10

Шаг 4. Создание ТЭБа для 2 колонки.

Создадим ТЭБ для второй колонки с соответствующими свойствами по тому же самому алгоритму «ТЭБ на схему → Ввод наименования → Задание Входов-выходов → Написание GPSS-модель», аналогично предыдущему шагу (Рис. 2.11 – 2.15).

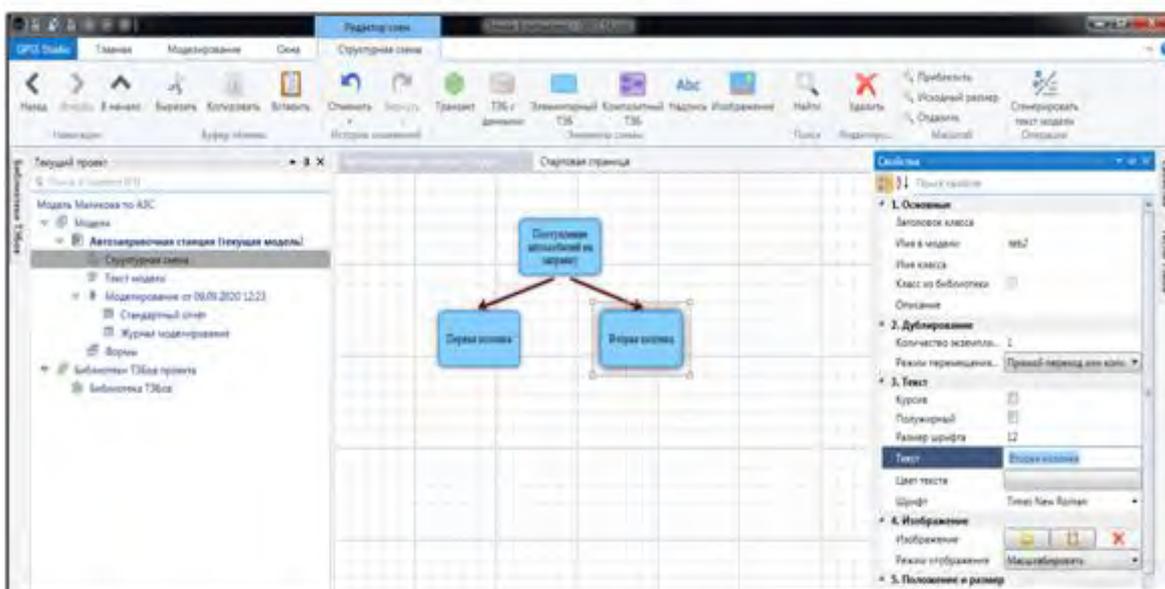


Рис. 2.11

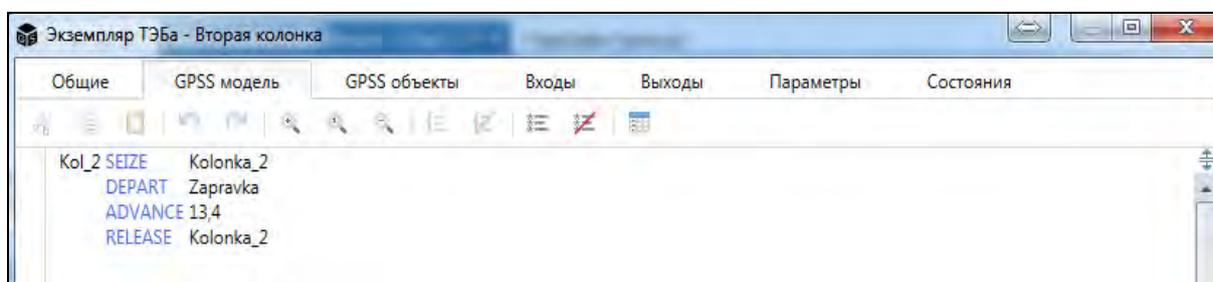


Рис. 2.12

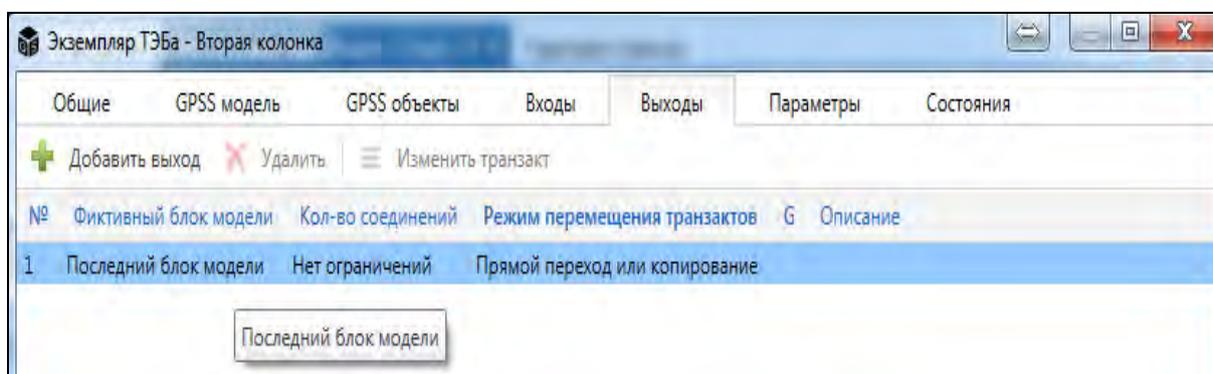


Рис. 2.13

Шаг 5. Ввод ТЭБа «Автомобиль покидает заправку».

Создадим ТЭБ «Автомобиль покидает заправку» - для имитации выезда автомобилей с заправки, применив аналогичные предыдущим шагам действия (Рис. 2.14-2.16).

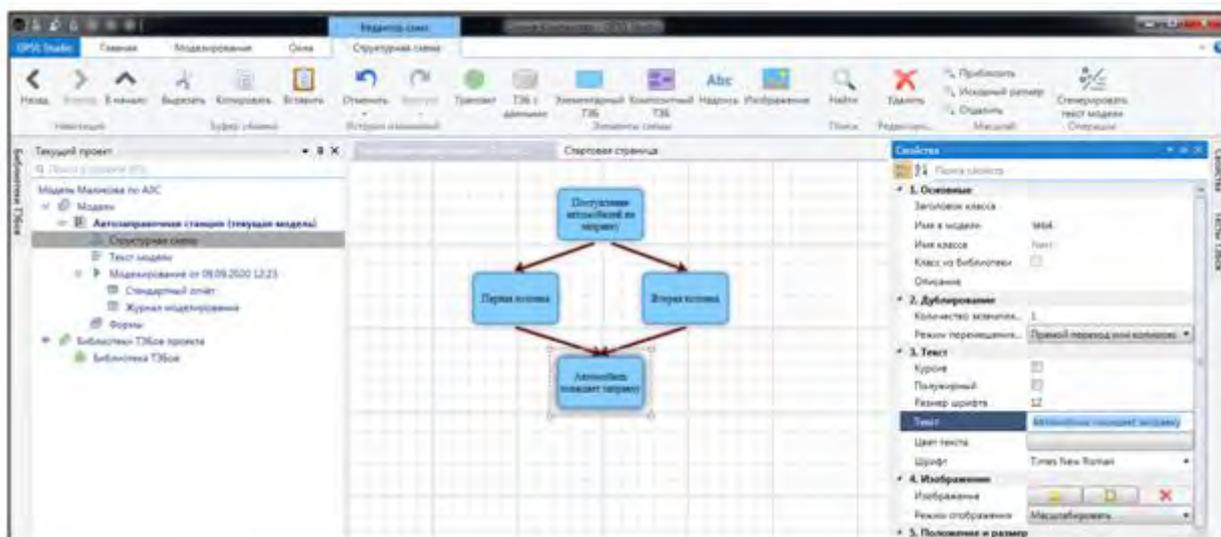


Рис. 2.14

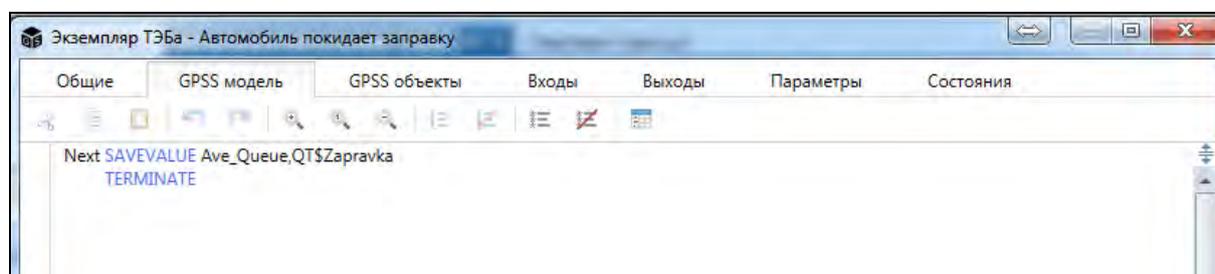


Рис. 2.15

№	Связанный блок модели	Кол-во соединений	Описание
1	Первый блок модели	Нет ограничений	

Рис. 2.16

Таким образом мы реализовали алгоритм работы АЗС с помощью 4 ТЭБов.

Шаг 6. Создание ТЭБа для ввода глобальных данных и имен.

Выше упоминалось о необходимости дополнительного описания исходных данных. Во-первых это требуется для систематизации, а во-вторых, необходимо обеспечить использование одинаковых имен объектов в разных ТЭБах. Например, занятие и освобождение очереди к колонкам выполняется в разных блоках, а имя объекта общее – Zapravka.

Поэтому, в GPSS Studio введен еще один типовой блок - ТЭБ с данными. Если мы опишем данные в этом ТЭБе, то они будут глобальными для всех ТЭБов этого уровня и уровней ниже на схеме.

Ввод данного типа ТЭБ осуществляется аналогично элементарному ТЭБ. А вот для описания объектов в нем необходимо в окне общих свойств ТЭБа (выбирается двойным щелчком по данному ТЭБу) выбрать вкладку «Объекты GPSS». После выбора этой вкладки открывается окно описания объектов. Примеры введения на схему ТЭБа с данными и процессы описания объектов приведены на рис. 2.17-2.18.



Рис. 2.17

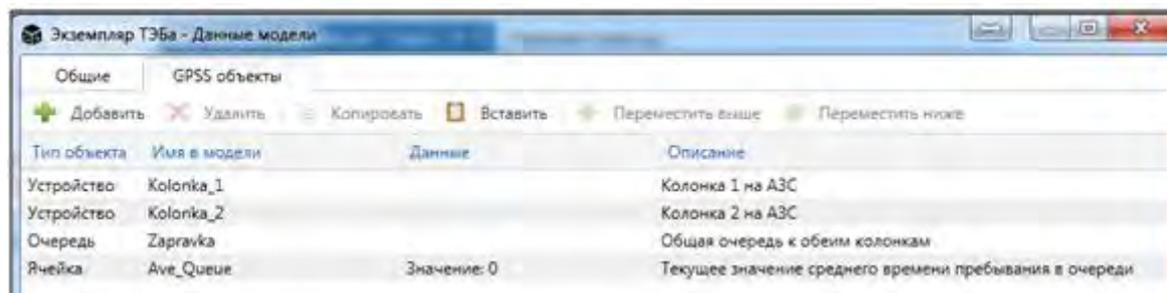


Рис. 2.18

Если не сделать имена глобальными, то генератор моделей при сборке всей модели добавит к заданному вами имени, имя ТЭБа, где это имя используется. Это делается для создания уникальных имен, в случае, если пользователь ошибочно повторяет имя.

Ни с какими другими ТЭБами данный блок не соединяется связями, так как он предназначен только для предварительного описания данных.

Шаг 7. Создание механизма управления временем моделирования.

Важным для исследования является возможность управления временем моделирования. В GPSS World существуют два способа – по количеству реализаций или по завершению одной реализации в заранее определенное время. Рекомендуется на схеме делать отдельных ТЭБ управления временем. Это отдельный элементарный ТЭБ обеспечивающий создание отдельного управ-

ляющего транзакта для выполнения действий по завершению моделирования. В нашем случае, это один транзакт, который создается по истечении рабочего дня (480 минут).

На рис. 2.19-2.20 приведены действия пользователя по созданию такого ТЭБа, который мы назвали «Управление временем».

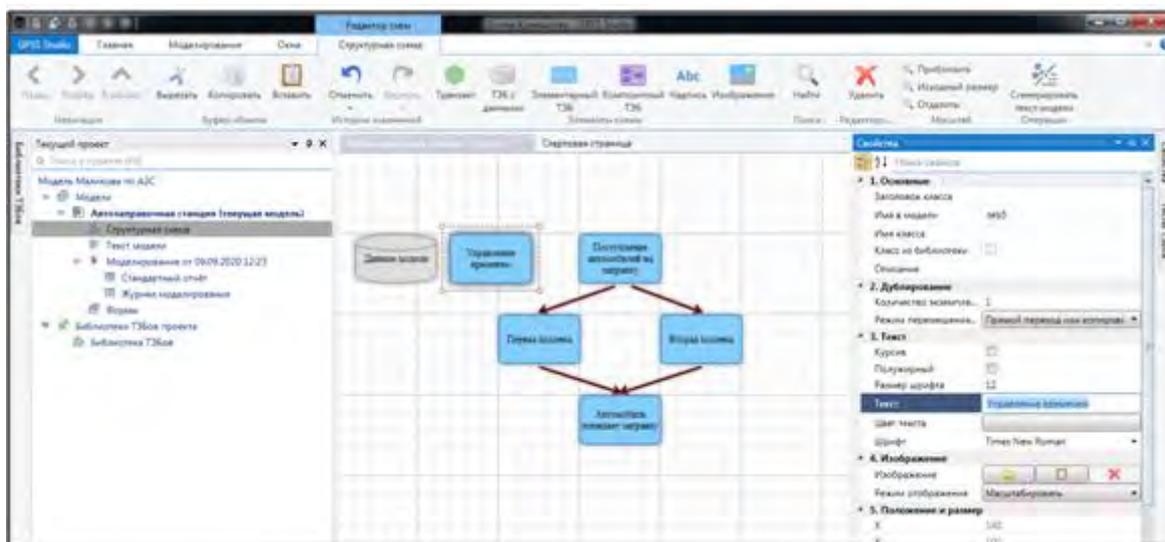


Рис. 2.19

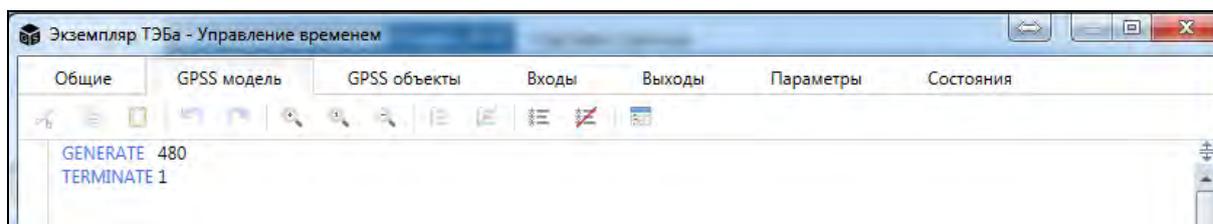


Рис. 2.20

Также как и в случае с ТЭБом «Данные модели», ТЭБ «Управление временем» не имеет связей с другими ТЭБаами, так как он полностью автономен.

Шаг 8. Автоматическая генерация текста и трансляция модели.

Прежде чем начать моделирование, убедитесь, что на вашем компьютере установлена студенческая версия GPSS World. Если нет, то ее можно скачать на сайте производителя. После этого можно приступать к сборке единой модели. Для этого во вкладке «Структурная схема» кликнем на команду «Сгенерировать текст модели» (Рис. 2.21) и в результате будет сформирован и выведен текст модели (рис. 2.22).

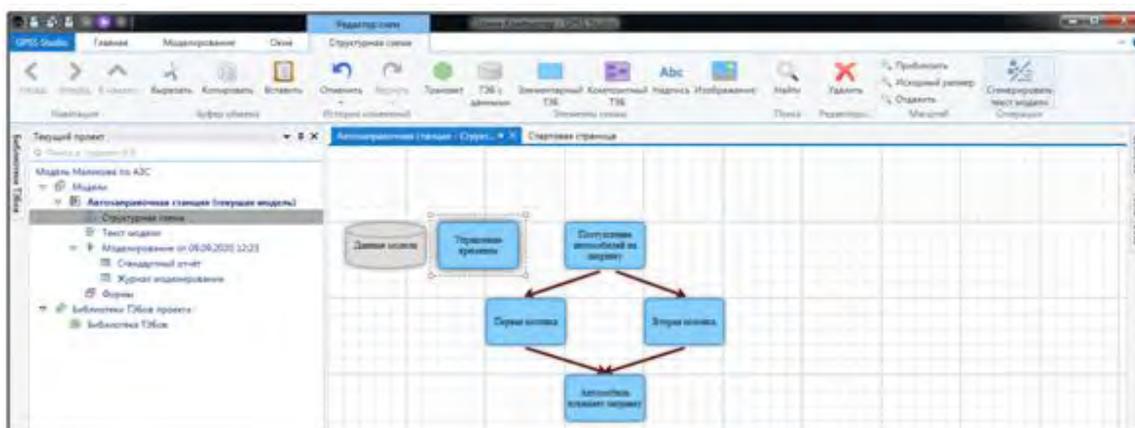


Рис. 2.21

```

1 *Инициальная модель «Автомобильная станция»
2
3 *ТЗ6 «Управление приоритетом»
4 GENERATE 480
5 TERMINATE 1
6
7 *ТЗ6 «Данные модели»
8 INITIAL X$Ave,Queue,0 ; Текущие значения среднего времени прибытия в очередь
9
10 *ТЗ6 «Поступление автомобилей на заправку»
11 GENERATE (Exponential(2,0.6))
12 QUEUE Заправка
13 TRANSFER BOTH teb3_Kol_1,teb2_Kol_2
14 TERMINATE
15
16 *ТЗ6 «Первая колонка»
17 teb3_Kol_1 SEIZE Колонка_1
18 DEPART Заправка
19 ADVANCE 13.4
20 RELEASE Колонка_1
21
22 *ТЗ6 «Автомобиль покидает заправку»
23 teb4_Next SAVEVALUE Ave,Queue,QTSЗаправка
24 TERMINATE
25
26 *ТЗ6 «Вторая колонка»
27 teb2_Kol_2 SEIZE Колонка_2
28 DEPART Заправка
29 ADVANCE 13.4
30 RELEASE Колонка_2
31 TRANSFER teb4_Next

```

Рис. 2.22

В приведенных нами рисунках показан итоговый результат действий по созданию модели. На самом деле в этом процессе могут возникать и различного рода ошибки, которые легко исправляются, так система выдает диагностические сообщения.

Шаг 9. Первое исполнение и логическая отладка модели.

Для создания правильно работающей GPSS-модели АЗС, необходимо ее проверить. А сделать это можно, только запустив модель на исполнение.

Запуск моделирования осуществляется вводом в главном меню команды «Моделирование». В результате будет выведено окно «Моделирование» на

котором активны две команды – «Запустить моделирование» и «Запустить отладку». Вторая команда выбирается в случае проблем с внутренней логикой модели и используется обычно для больших моделей.

В нашем случае выберем команду «Запустить моделирование». В результате, если нет ошибок трансляции, то в рабочей области появится журнал моделирования, показывающий о завершении трансляции (рис. 2.23). Если есть ошибки, то в журнале система выведет информацию об ошибке, в стандартном для GPSS World виде.

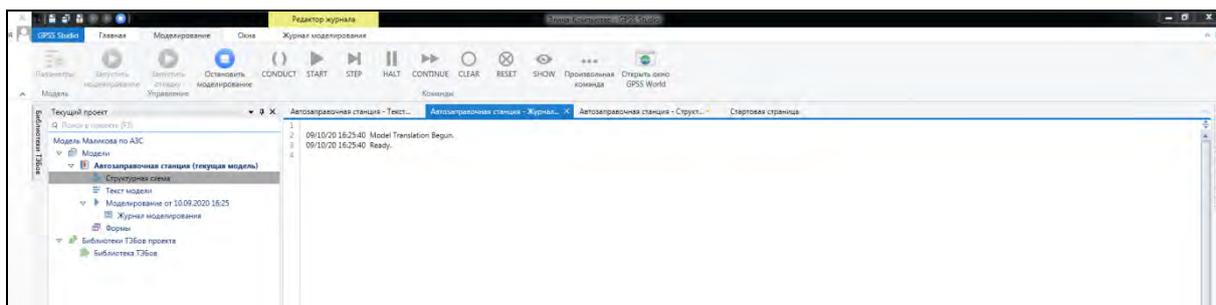


Рис. 2.23

После этого необходимо задать счетчик завершения, выбрав в меню моделирования команду «Старт», что приведет к выводу специально окна «Команды GPSS World» и вы должны в поле команды START задать количество реализаций (рис. 2.24). В нашем случае это число 1 (одна рабочая смена). Если необходимо смоделировать большее число смен, то нужно в поле команды задать это количество.

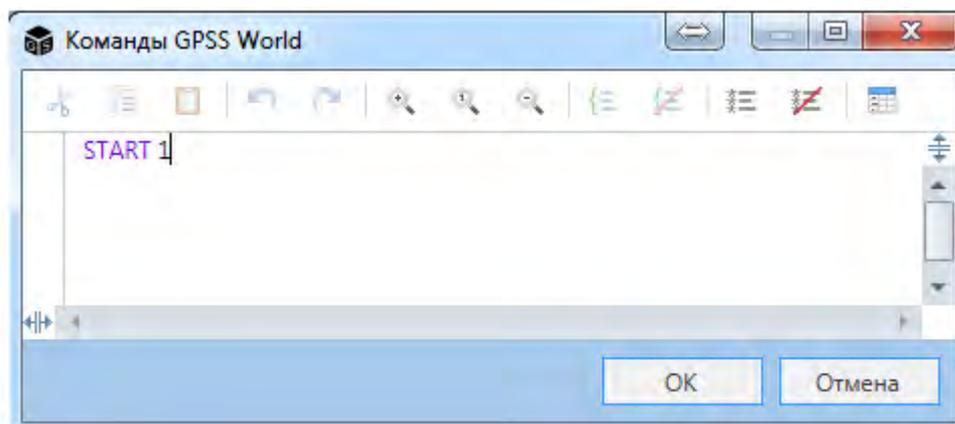


Рис. 2.24

После выбора в окне «Команды GPSS World» и при отсутствии логических ошибок в модели будет выведен Стандартный отчет GPSS. Если все же произошла ошибка, то информация о ней будет выведена в Журнале.

Стандартный отчет в GPSS Studio состоит из разделов, которые могут вызываться с помощью выбора их пользователем. На Рис. 2.25а и 2.25б приведены примеры вывода различных разделов отчета.

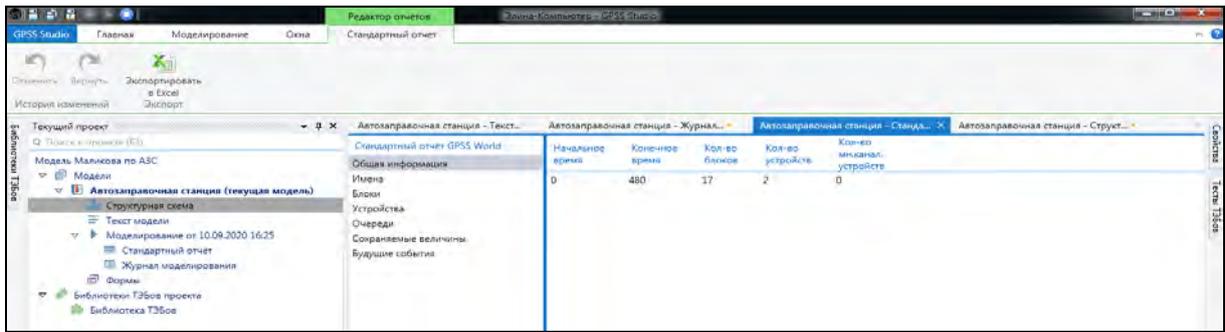


Рис. 2.25а

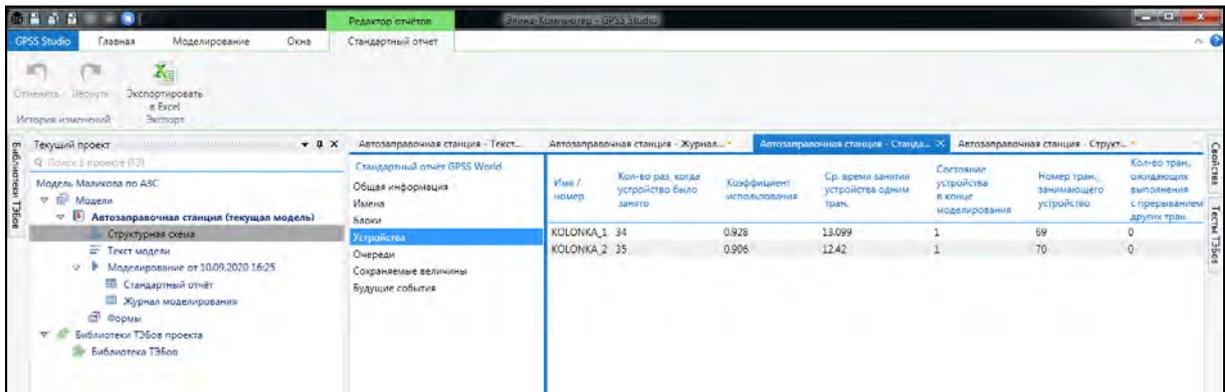


Рис. 2.25б

Анализируя, полученные в отчете данные, пользователь после необходимых исправлений и повторных итераций предыдущих шагов убеждается – модель разработана, она работоспособна и полностью отражает, то что задумано в постановке задачи.

Тем не менее, в таком виде работать с моделью и проводить эксперименты неудобно, так как все время нужно проводить исправления в модели. А пользователю, не знающему моделирование еще и не понятен текст модели. Поэтому, в GPSS Studio, для проведения экспериментов с разработанной и отлаженной моделью, имеется набор инструментов по конструированию имитационного приложения. Имитационное приложение позволит вводить исходные данные и анализировать результаты с помощью удобных и наглядных форм представления и простейших диалогов.

Шаг 10. Начало конструирования имитационного приложения.

Первым шагом в разработке имитационного приложения является создание новой формы, в которой вы будете конструировать диалоги ввода исходных данных и вывода результатов.

В дереве проекта выберите строку «Формы» и нажмите на ее правой кнопкой мыши. В выпавшем контекстном меню выберите и введите команду «Создать форму». В результате будет предложен диалог создания формы, в

котором необходимо ввести название формы и нажать на световую кнопку «Создать». Все эти действия приведены на рис. 2.26.

В результате, при выборе строки «Заправка» и щелчка мыши по ней, будет осуществлен переход в редактор форм/

С помощью редактора форм вы сможете сами сконструировать необходимые для вас диалоги по вводу данных, планированию экспериментов и анализу результатов. Всего существует четыре различных типа диалоговых форм, которые может создать сам пользователь «Ввод данных», «Планирование экспериментов», «Ролик динамики» «Анимационная форма». В данном примере мы сконструируем только первые три формы, не создавая форму анимации.

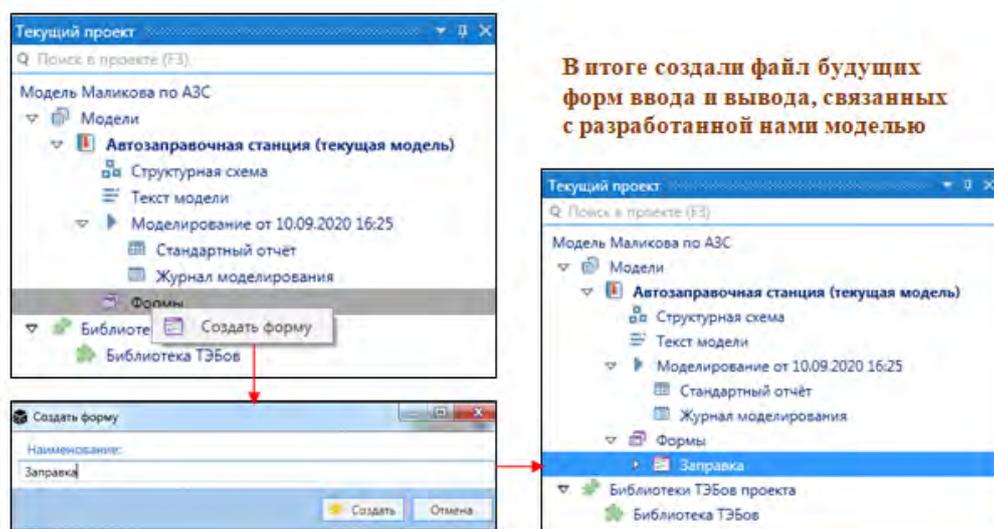


Рис. 2.26

Шаг 11. Настройка ввода данных. Начнем с создания формы ввода исходных данных. В редакторе форм через меню *Форма -> Ввод данных* заходим в окно создания формы «Ввод данных» (рис. 2.27).

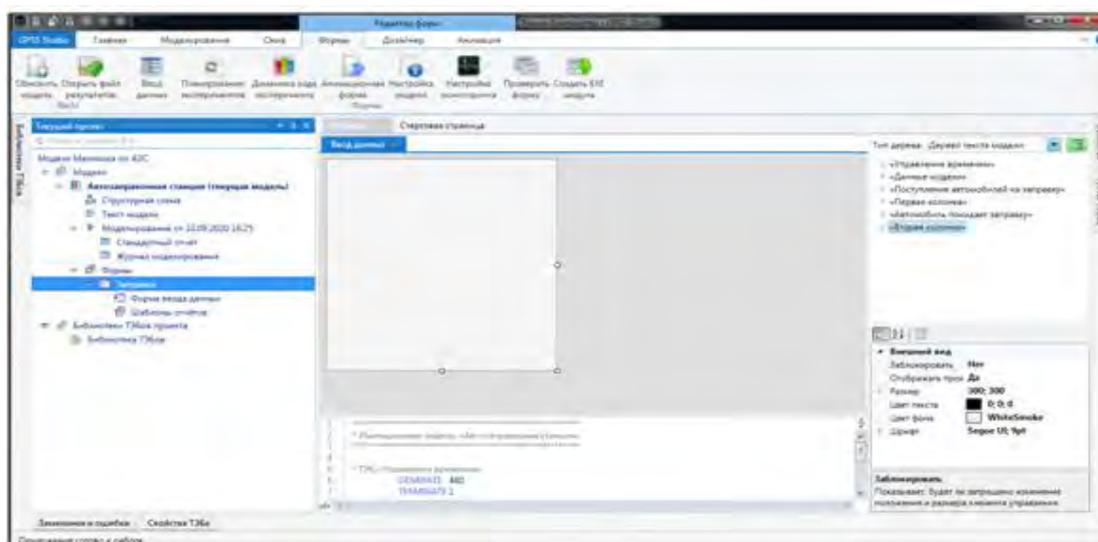


Рис. 2.27

Анализ нашей задачи показывает, что входными параметрами, которые мы будем менять в процессе проведения будущих экспериментов, являются:

- Поступление автомобилей на заправку согласно некоторой функции распределения, в данном случае экспоненциальной;
- Время заправки на первой колонке, в зависимости от запрашиваемых литров горючего, она случайная величина и подчиняется равномерной функции распределения;
- Время заправки на второй колонке, в зависимости от запрашиваемых литров горючего, она также случайная величина и подчиняется равномерной функции распределения;
- Время работы смены.

Все инструменты работы с данной и последующими формами доступны при выборе в меню редактора форм команды «Дизайнер» (рис. 2.28).

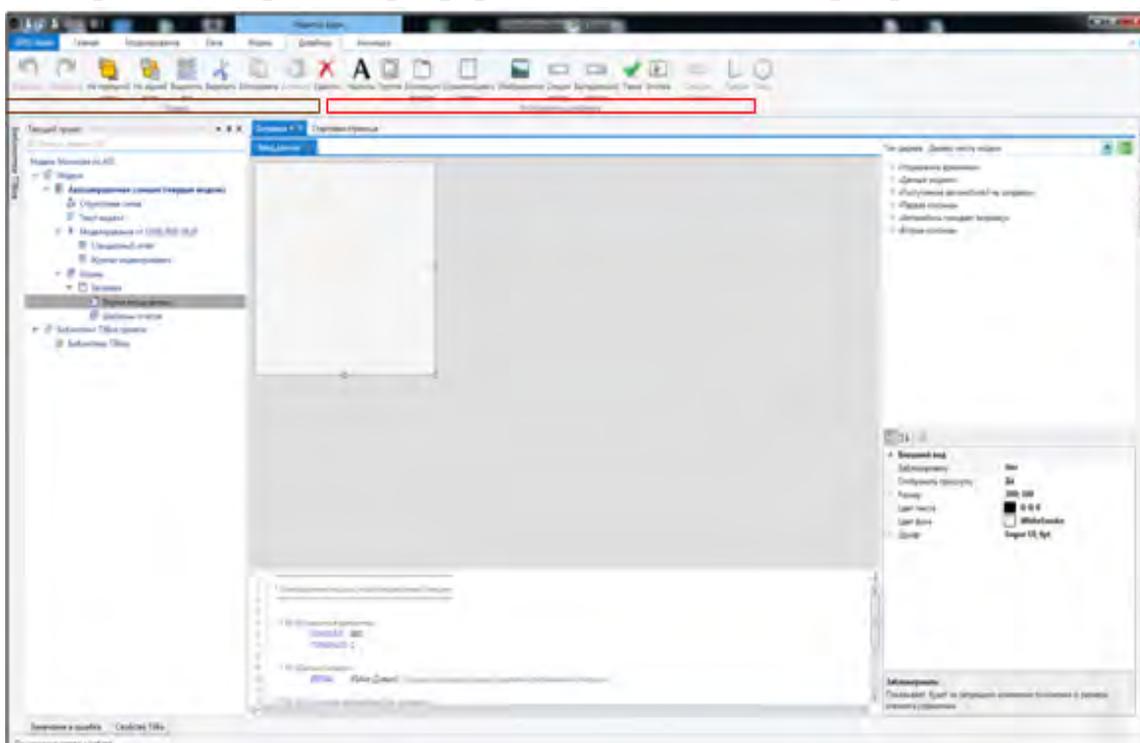


Рис. 2.28 – Меню дизайнера форм

Используя команды дизайнера и команды правки, пользователь может сконструировать необходимые диалоги и оформить в привычном для предметной области стиле и языке общения. Нет смысла полностью описывать весь процесс конструирования, так как со всеми его деталями можно ознакомиться в руководстве пользователя GPSS Studio. Выделим лишь основные принципиальные моменты.

Ввод изменяемых в модели исходных данных осуществляется посредством связи разработанной вами модели с полями рабочего полотна формы вво-

да. На рис. 2.28, справа, видим меню выбора типа дерева с которым мы работаем. Для формы ввода это текст модели - он выбирается автоматически. Данное дерево интерактивно и вы сможете, войдя в нужный ТЭБ, найти необходимую строку текста модели (с блоком и операндами), где эти данные находятся. Все очень просто. Находите строку, выбираете операнд и, при нажатой левой кнопки мыши, тащите его в выбранное вами место в рабочей области, а затем опускаете кнопку. Тогда на экране появится диалоговая секция с текущим содержанием. Если ошиблись, то эту секцию можно перетащить в любое место рабочей области или удалить. Для понимания, что это за данные, необходимо подписать эту секцию, используя команду «Надпись» в меню дизайнера. Для этого необходимо сначала кликнуть мышью по команде, а затем по месту, где вы планируете надпись. Через окно индивидуальных свойств вы можете ввести все параметры надписи – текст, шрифт, цвет и др.

На рисунке 2.29 приведен результат оформления диалога по вводу данных для шести параметров автозаправки.

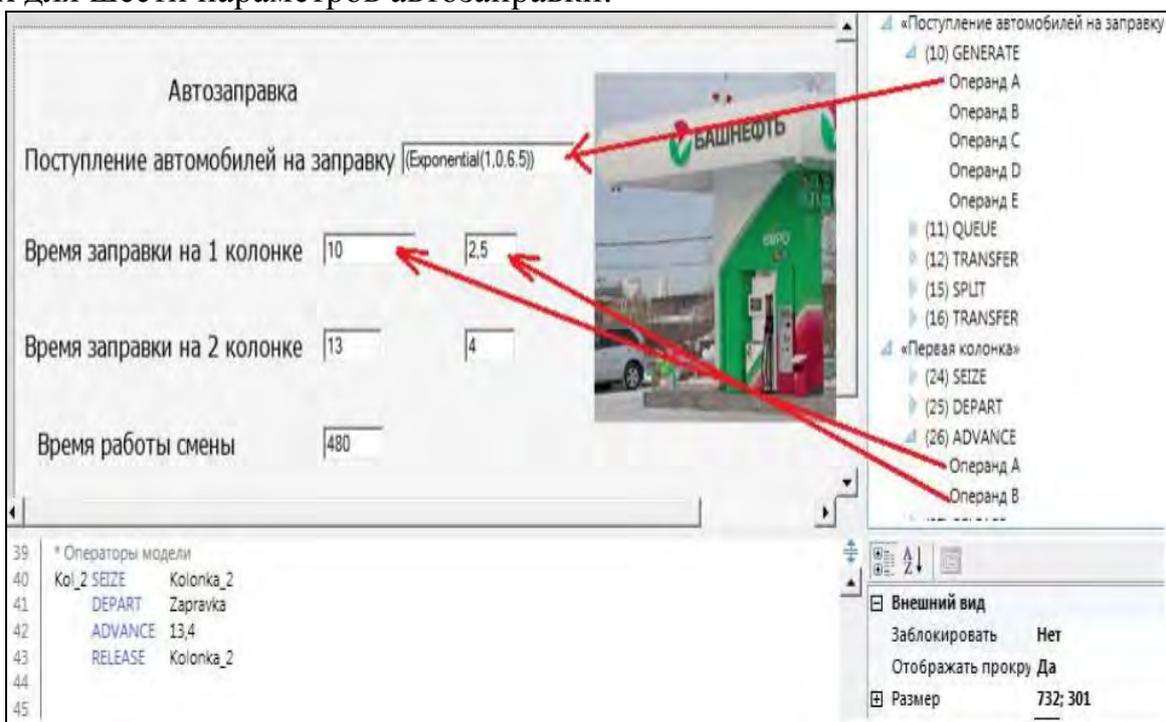


Рис. 2.29

Аналогично, можно украсить эту форму и добавить к ней любое изображение. Для этого выберите команду «Изображение», и разместите его в нужном месте рабочей области. Используя окно индивидуальных свойств элемента, определите его размеры и расположение. Последовательность действий по оформлению формы ввода изображением показана на рис. 2.30.

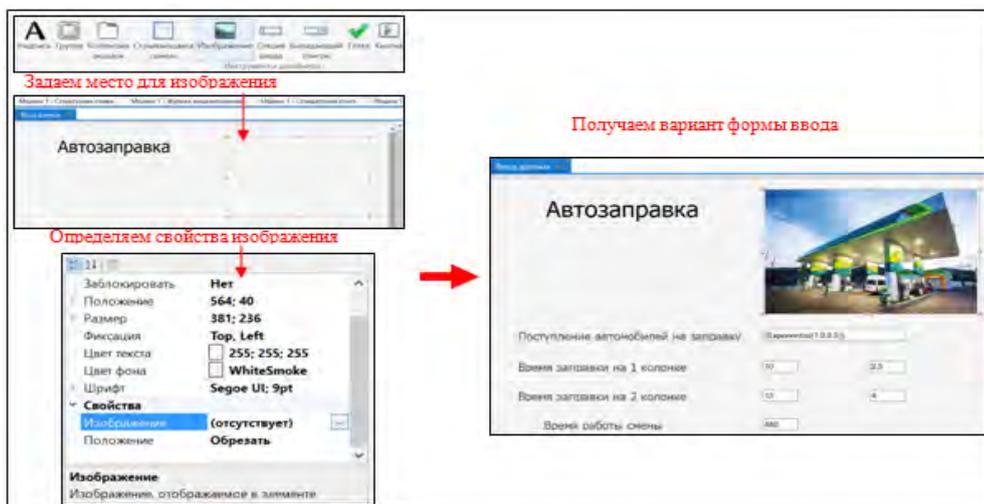


Рис. 2.30

Форма ввода может быть значительно сложнее, с различными видами диалоговых секций, объединения параметров в группы, выделения отдельных интерактивных вкладок. Но для такой простой модели данной формы ввода достаточно.

После оформления диалогов ввода данных, необходимо сделать диалоги анализа результатов моделирования.

Шаг 12. Разработка пользовательского интерфейса слежения за ходом эксперимента. В данном примере будем конструировать только одну форму.

Для начала создания диалога в меню редактора форм выбираем команду «Динамика хода эксперимента». В результате, в рабочей области формы будет выведено следующее изображение (рис. 2.31).

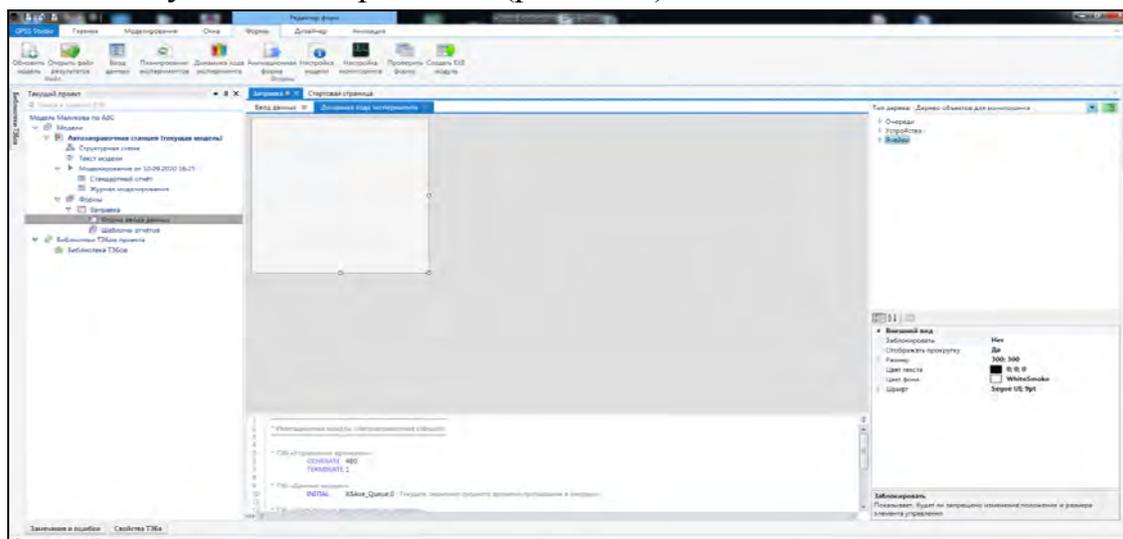


Рис. 2.31

Как видим из рисунка, к вкладке «Форма ввода» добавилась еще вкладка «Динамика хода эксперимента», которую мы и будем конструировать.

В нашем примере интересны для анализа следующие характеристики:

- Общее количество входов машин в очередь на заправку;
- Среднее время, проводимое машинами в очереди;
- Загруженность первой колонки;
- Загруженность второй колонки.

Попытаемся вывести все показатели для анализа на вкладке «Динамика хода эксперимента». Набор инструментов для этого есть.

В частности на форме динамики справа стало доступным дерево объектов мониторинга (вместо дерева текста модели). Войдя в это дерево пользователь может по иерархии объектов добраться до любого СЧА (системного числового атрибута) фиксируемого в модели. Следует также отметить, что можно изменить название СЧА на любой текст, по смыслу более подходящий в данной модели.

После выбора нужного СЧА (например, «Общее число входов в очередь»), его мышью перемещают в нужное место рабочей области (при нажатой левой кнопки мыши). Аналогично переносятся на форму и все другие необходимые нам показатели.

Для визуализации графического хода эксперимента используется команда «График». Наполнение графика осуществляется по технологии, описанной в «Руководстве пользователя». В самом общем виде это - выбор в окне индивидуальных свойств элемента «График» свойства «Коллекция», затем выбор и заполнение «Рядов» из которых формируется график, выбирается вид графика, подписываются названия ряда на графике и перетаскиваются мышью необходимые СЧА из «Дерева объектов для мониторинга». Схема всех этих действий показана на рис. 2.32.

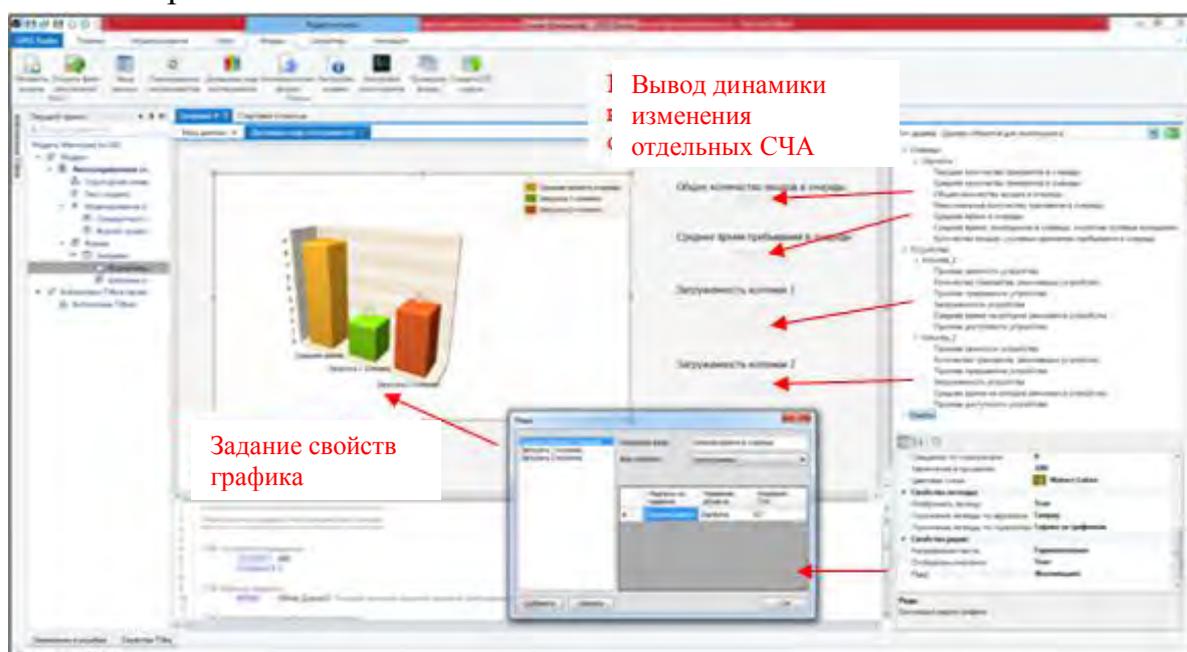


Рис. 2.32

Шаг 13. Планирование экспериментов. Для планирования экспериментов входим в меню редактора форм –выбираем команду «Планирование эксперимента». На экране появится следующее изображение (рис. 2.33). Подробно технология описания всех доступных в GPSS Studio видов экспериментов - отдельного эксперимента, серии экспериментов или оптимизирующего эксперимента - описана в «Руководстве пользователя». В нашем случае продемонстрируем построение плана серии экспериментов. Для этого нужно выбрать в меню типов экспериментов (в рабочей области формы) пункт - «Автоматическое построение плана с использованием шага».

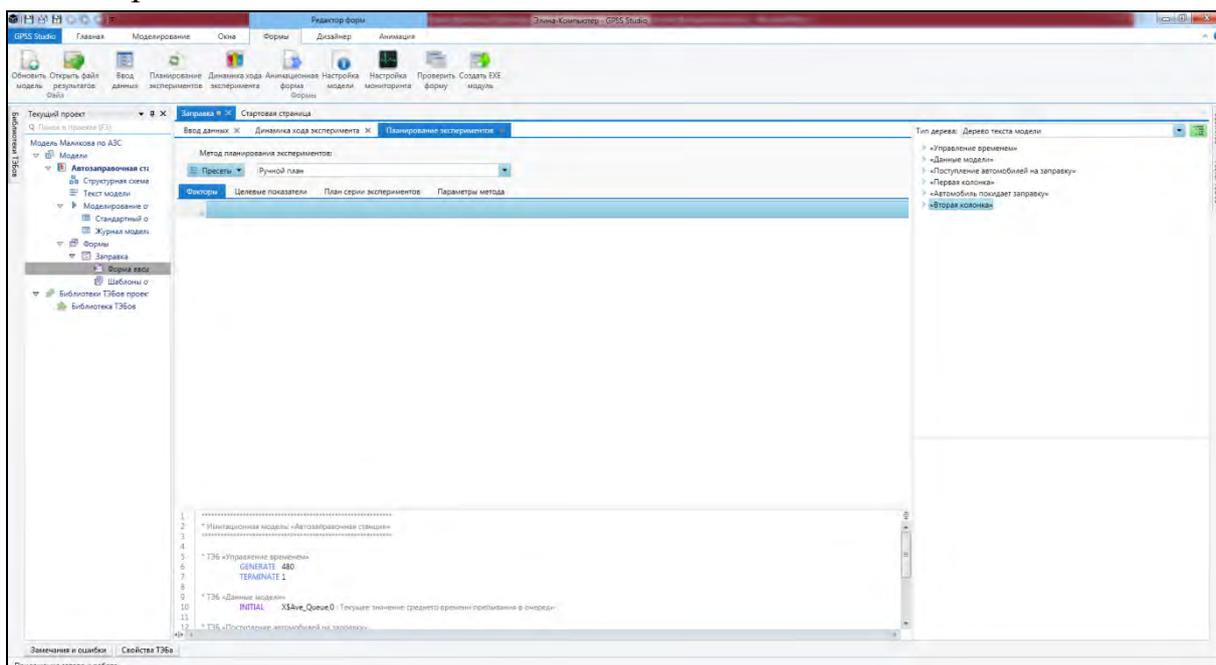


Рис. 2.33

Затем последовательно выполним следующие действия:

- Во вкладке «Факторы» зададим все участвующие в серии факторы модели (изменяемые исходные данные), работая с деревом текста модели, как при создании формы ввода. Также необходимо задать границы изменения факторов в серии. Выбрать факторы, которые будут участвовать в текущем эксперименте (в последующих экспериментах этот указатель можно изменять).
- Во вкладке «Показатели», зададим СЧА изменение которых вы хотите наблюдать. Для выбора показателей необходимо выбрать дерево мониторинга и перетащить нужные СЧА в рабочее поле вкладки. Выбрать показатели, которые будут участвовать в текущем эксперименте (в последующих экспериментах этот указатель можно изменять).
- Выбрать команду «Построить план» (зеленая световая кнопка в првой части рабочей области).

- Войти во вкладку «План серии экспериментов» и проанализировать план. Не нужные эксперименты (строки в таблицы) можно удалить вручную или можно подправить (уточнить) значение изменяемого фактора в некоторых экспериментах.

В самом общем виде последовательность действий при планирования серии экспериментов показана на рис. 2.34.

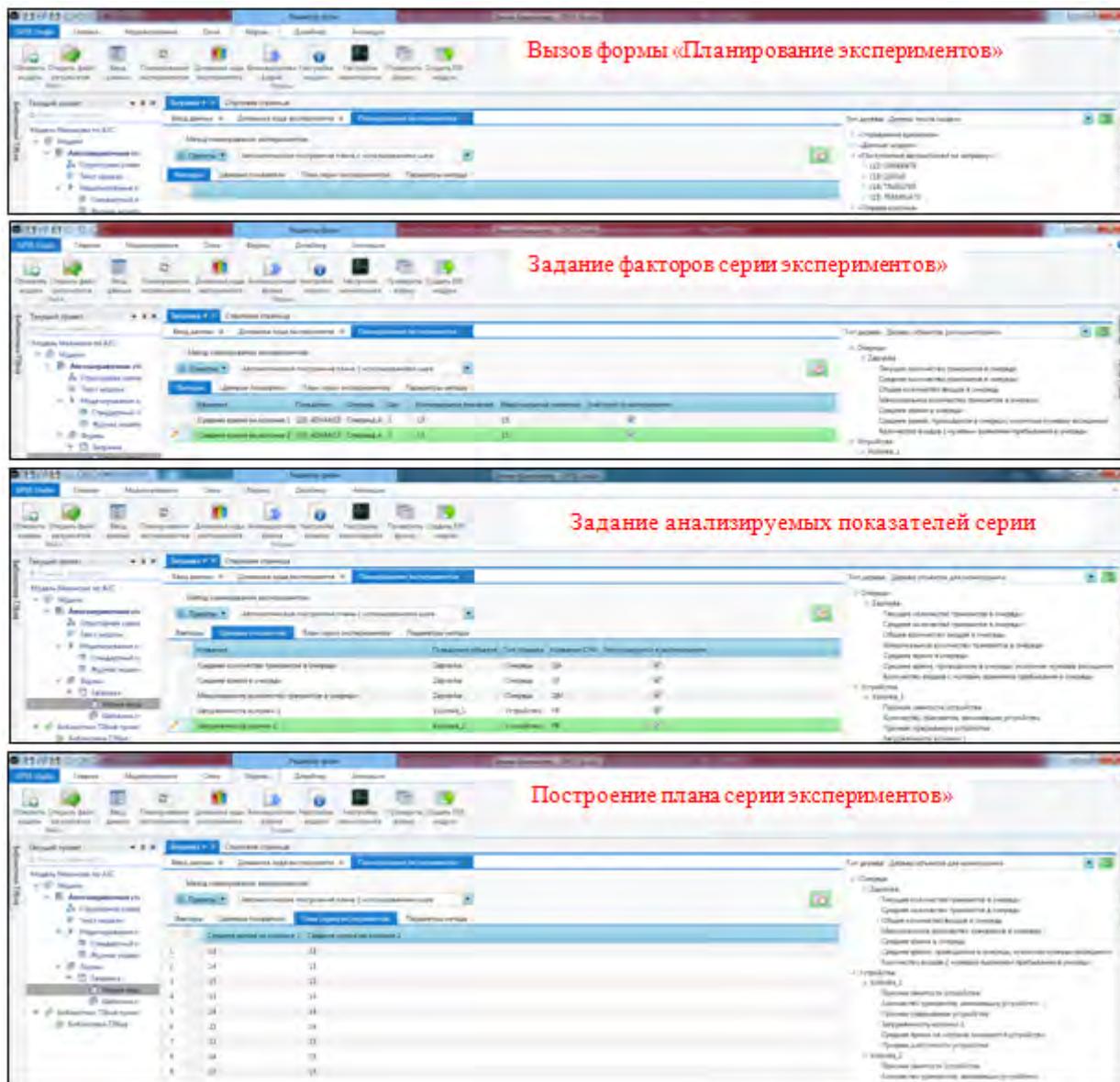


Рис. 2.34

Шаг 14. Настройка модели и проведение машинного эксперимента.

Чтобы проверить, как работает модель необходимо корректно ввести ее настройки и задать какие данные мы будем собирать. В меню форм для выполнения этих действий имеются две команды «Настройка модели» и «Настройка мониторинга». В руководстве пользователя имеется подробное описание всех действий по настройке. Мы не будем углубляться в детали, а приведем лишь правильно введенные настройки (рис. 2.35). Для проведения сфор-

мированного эксперимента (в нашем случае серии экспериментов), необходимо зайти в меню «Формы» выбрать команду «Проверить форму», в результате откроется окно имитационного приложения (рис. 2.36).

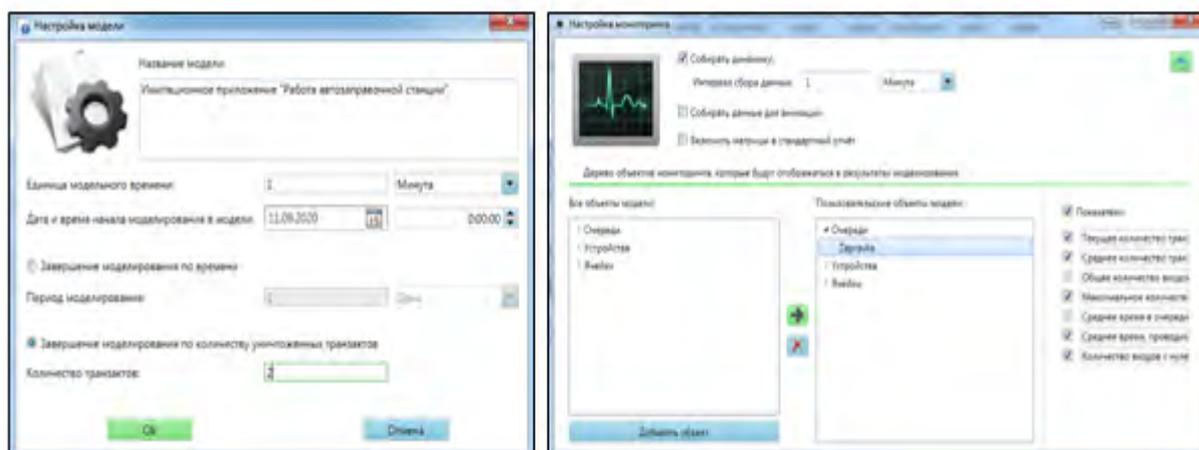


Рис. 2.35

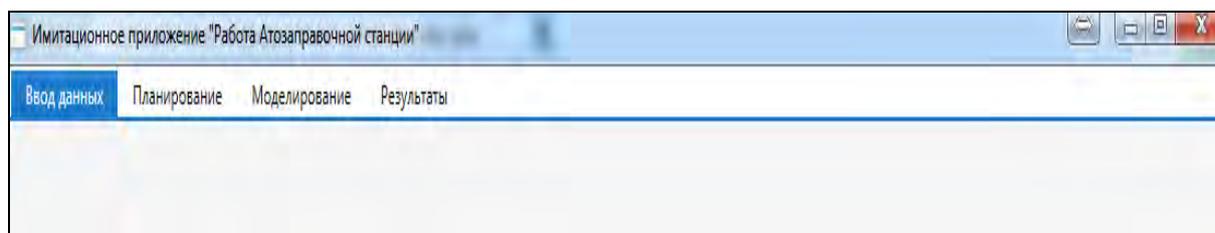


Рис. 2.36

Следует отметить, что имитационное приложение уже функционирует отдельно и может использоваться без среды моделирования GPSS Studio.

Вкладки «Ввод данных» и «Планирование экспериментов» позволяют выполнить те действия, которые мы заложили в них при конструировании в среде.

Так как все исходные данные нами уже введены и запланирована серия экспериментов, то можно уже запускать исполнение этой серии. Для этого необходимо:

- На вкладке «Моделирование» выбрать команду «Провести серию экспериментов».
- Если выводится ошибка «Не указан путь к GPSS World», то указываем путь через команду «Настройки приложения» (самая правая световая кнопка), а затем исполняем команду «Провести серию экспериментов».
- После запуска моделирования, наблюдаем ход исполнения серии и ждем ее завершения.
- После завершения серии можно посмотреть результаты серии во вкладке «Результаты».

Все эти действия пользователя отображены на рис. 2.37.

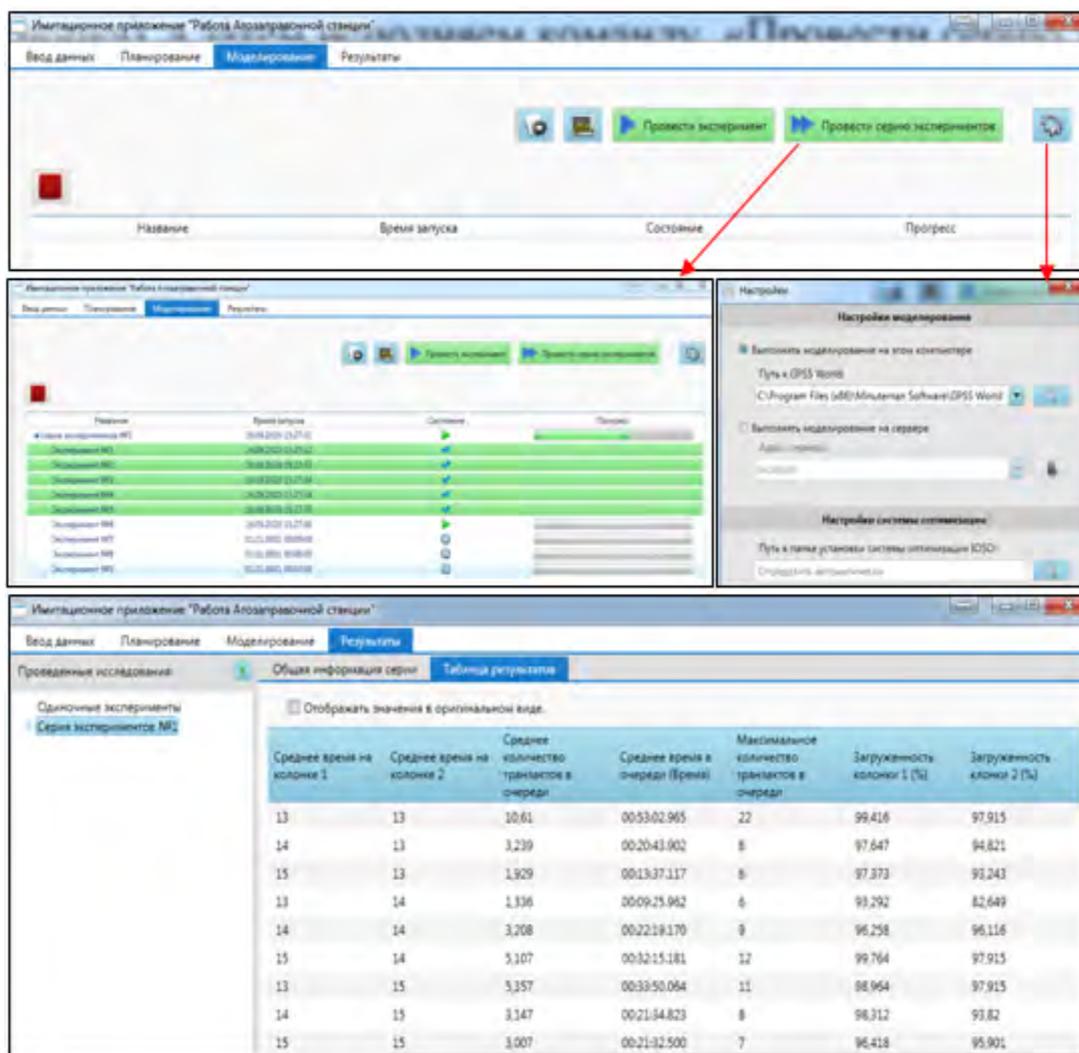


Рис. 2.37

После проведения моделирования можно ознакомиться с результатами серии экспериментов (как и показано на рис. 2.37) и с результатами отдельных экспериментов в серии.

При просмотре результатов отдельных экспериментов можно посмотреть форму динамики хода эксперимента, которую мы сформировали, а можно посмотреть динамику изменения отдельных СЧА через вкладку «Динамика результатов», которая формируется автоматически.

Ниже на рисунках представлены различные результаты моделирования отдельного эксперимента в виде графиков (рис. 2.38 – 2.42).



Рис. 2.38

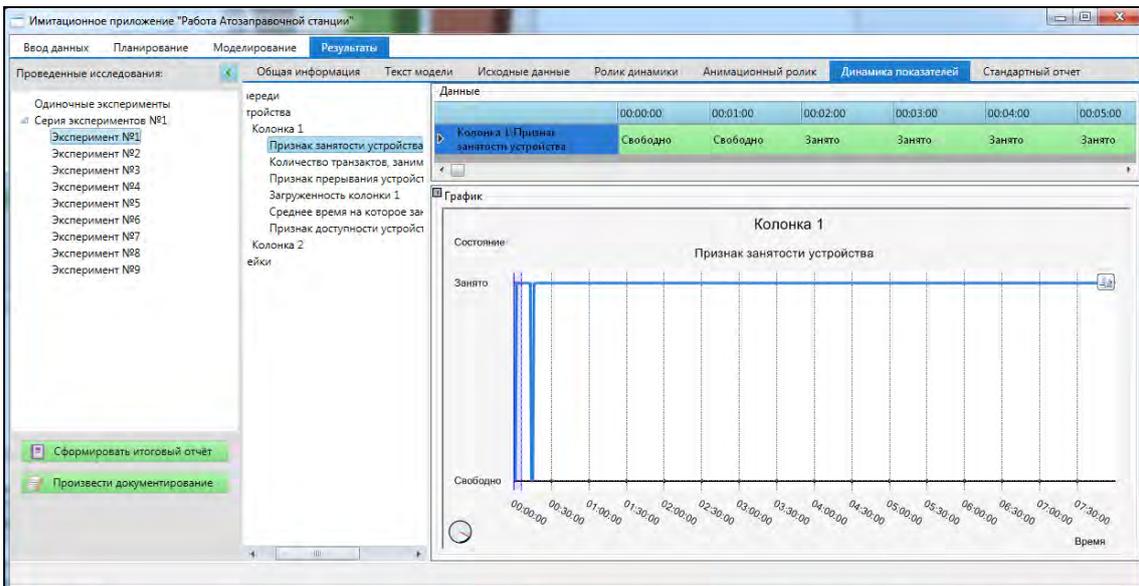


Рис. 2.39

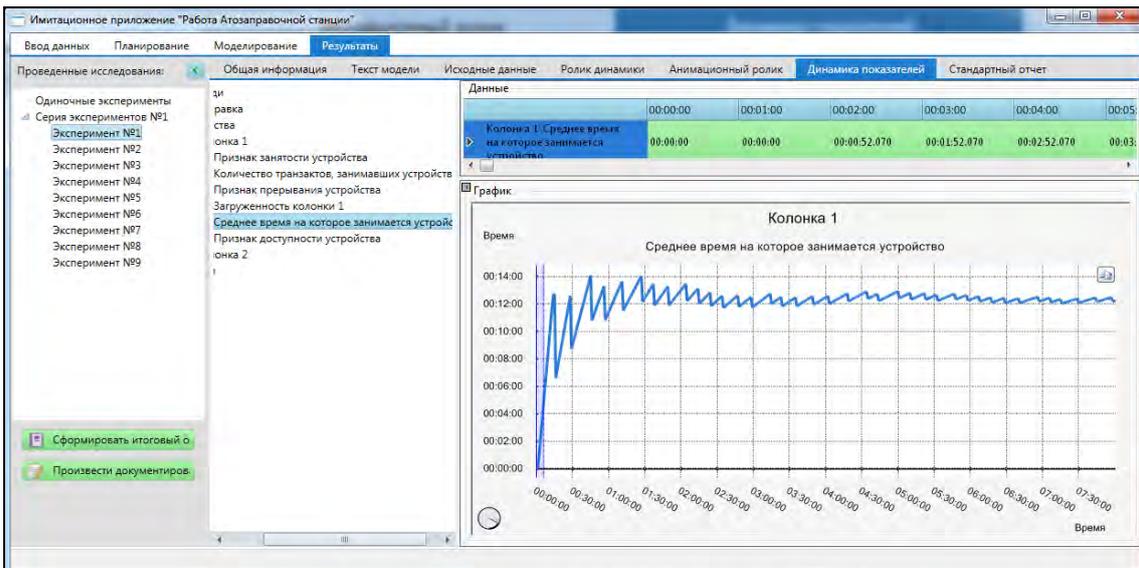


Рис. 2.40

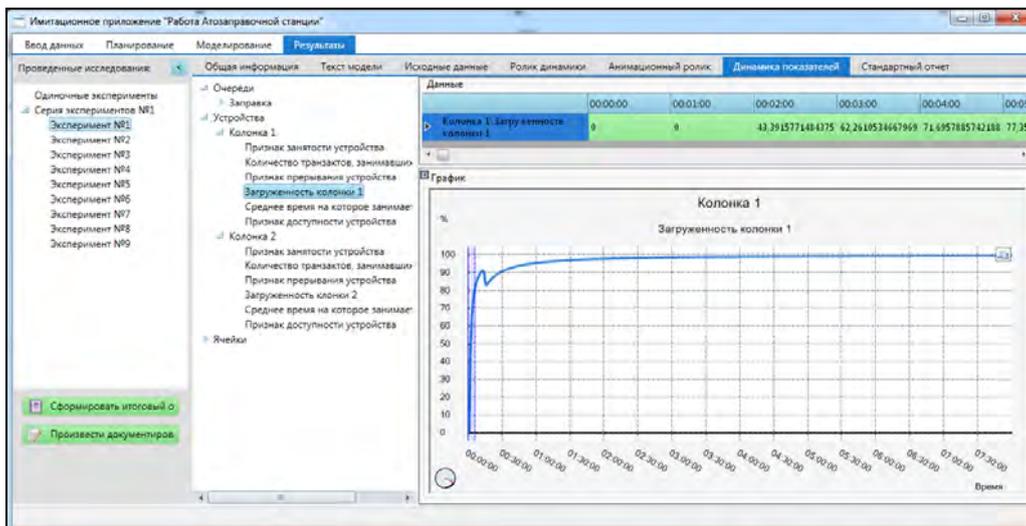


Рис. 2.41

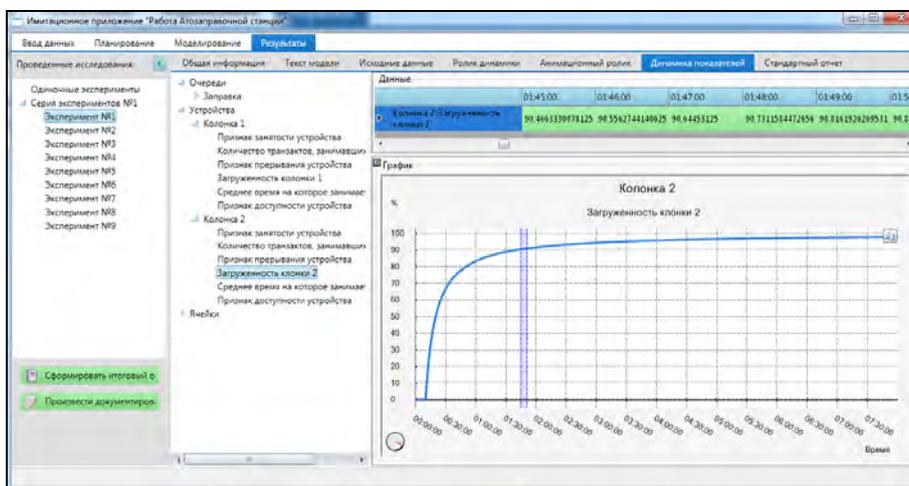


Рис. 2.42

Таким образом, в результате выполнения данной лабораторной работы проведено строительство экспериментальной компьютерной установки «Автозаправка» в виде имитационного приложения и проведены тестовые эксперименты.

Задания на исследование:

1. Провести ряд экспериментов с различными значениями входных параметров и характеристик устройств обслуживания с учетом анализа и планирования экспериментов.
2. Проанализировать результаты моделирования по стандартному отчету и сделать выводы.
3. В редакторе форм вывести различные динамические графики по работе канальных устройств (количество занятых линий, среднее количество используемых линий, загруженность устройств, среднее время загрузки устройств, признаки загруженности устройства, памяти и др.).

4. По каждому из графиков сделать выводы.
5. Написать заключение по работе реальной системы на основе имитационного моделирования и рекомендации по оптимизации работы системы.
6. Написать рекомендации по адекватности имитационной модели и дальнейшей ее модернизации в сторону увеличения детализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопов А.С. Имитационное моделирование : учебник и практикум для академического бакалавриата. – М. : Издательство Юрайт, 2014. – 389 с. ISBN 978-5-9916-4186-9.
2. Алиев Т.И., Муравьева-Витковская Л.А., Соснин В.В. Моделирование: задачи, задания, тесты. – СПб: НИУ ИТМО, 2011. – 197 с.
3. Алиев, Т.И. Основы моделирования дискретных систем [Текст]. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с. ISBN 978-5-7577-0336-7.
4. Бекмагамбетов, М.М., Кочетков, А.В. Анализ современных программных средств транспортного моделирования [Текст] // Журнал Автомобильных Инженеров, 2012. – № 6 (77).– с.25-34.
5. Беляков, Б.И. Применение теории массового обслуживания на автомобильном транспорте: учеб. пособие [Текст]. – М.: 1975. – 82 с.
6. Бережная, Е.В., Бережной, В.И. Математические методы моделирования экономических систем [Текст]. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 430с. ISBN: 978-5-279-02940-2.
7. Боев, В.Д. Исследование адекватности GPSS World и AnyLogic при моделировании дискретно-событийных процессов: монография [Текст]. – СПб.: ВАС, 2011. – 404 с.
8. Боев, В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: учеб. пособие [Текст]. – СПб.: ВHV-Петербург, 2004. –368 с. ISBN 5-94157-515-7.
9. Васильев, А. И. Имитационное моделирование информационных и вычислительных систем с использованием GPSS: учеб. пособие [Текст]. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004.– 97 с. ISBN 5-7596-0388-4.
10. Воробейчиков Л.А., Сосновиков Г.К. Моделирование систем массового обслуживания в среде GPSS World : учеб. Пособие. – М.: КУРС, 2019. – 272 с. ISBN 978-5-907064-94-2.
11. Гнеденко, Б.В., Коваленко, И.Н.. Введение в теорию массового обслуживания [Текст]. – М.: Наука, 1987. – 336с.
12. ГОСТ 34.602–89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.
13. Грекул, В.И, Денищенко, Г.Н, Коровкина, Н.Л. Проектирование информационных систем [Текст]. – М.: Изд-во «Интернет-Ун-т Информ. Технологий», 2005. – 304 с. ISBN 5-9556-0033-7.
14. Григорьева, Т.Е., Истигечева, Е.В. Разработка имитационных моделей рациональной маршрутной системы [Электронный ресурс] // Электронный

- научный журнал «Моделирование, оптимизация и информационные технологии», 2016. – №3(14). / <http://moit.vivt.ru/>
15. Губин, С.В., Боярчук, А.В. Информационные технологии в логистике. Курс лекций для высших технических учебных заведений [Текст]. – Киев: «Миллениум», 2009. – 60 с.
 16. Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие [Текст]. – М: ИНФРА-М, 2018. – 283с. ISBN 978-5-9558-0595-5.
 17. Девятков, В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография [Текст]. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА–М, 2013. – 448с. ISBN. 978-5-9558-0338-8.
 18. Дудин, А.Н., Медведев, Г.А., Меленец, Ю.В. Практикум на ЭВМ по теории массового обслуживания: учеб. пособие [Электронный ресурс] // Мн.: “Электронная книга БГУ”, 2003. — Режим доступа <http://anubis.bsu.by/publications/elresources/AppliedMathematics/dudin.pdf>.
 19. Духанов, А. В., Медведева О. Н. Имитационное моделирование сложных систем: курс лекций [Текст]. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 115 с.
 20. Елисеев, М.Е., Липенков А.В., Маслова О. А. О проведении обследований городских автобусных маршрутов с целью их последующего моделирования [Текст] // Автотранспортное предприятие. – №1. – 2012. – С.42–44.
 21. Задорожный, В.Н. Имитационное и статистическое моделирование: учеб. пособие [Текст] / – 2-е изд., испр. и доп. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 136 с. ISBN 978-5-8149-1461-3.
 22. Задорожный, В.Н. Статистическое моделирование: учеб. пособие [Текст]. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 1996.– 92с. ISBN 5-230-13865-3.
 23. Имитационное и статистическое моделирование: практикум для студентов мат. и экон. спец. [Текст]/ В. И. Лобач, В. П. Кирлица, В. И. Малюгин, С. Н. Сталевская. – Мн.: БГУ, 2004. – 189с.
 24. Имитационное моделирование на языке GPSS [Текст]/ Сост. Алтаев А.А.– Улан-Удэ.– Изд-во ВСГТУ, 2001. – 122 с.
 25. Кийкова Е.В., Лаврушина Е.Г. Моделирование систем. Практикум : учебное пособие для бакалавров [Текст]. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2017 – 100 с. ISBN 978-5-9736-0441-7.
 26. Кобелев, Н.Б. Девятков, В.В., Половников, В.А. Имитационное моделирование: учеб. пособие [Текст] . – М.: КУРС: ИНФРА-М, 2014– 368с. ISBN 978-5-905554-17-9.

27. Королёв, А.Г. Моделирование систем средствами GPSS - Future. Практический подход в примерах и задачах: учеб. пособие [Текст]. – Северодонецк, 2009. – 235с.
28. Кудрявцев, Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем [Текст]. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с. ISBN 5 94074 219 X.
29. Маликов, Р.Ф. Практикум по дискретно-событийному моделированию сложных систем в расширенном редакторе GPSS World [Текст]: практикум / Р.Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2017. – 273с.
30. Маликов, Р.Ф. Основы математического моделирования: учеб. пособие [Текст]. – М: Изд-во «Горячая линия – Телеком», 2010. – 348с. ISBN 978-5-9912-0123-0.
31. Маликов, Р.Ф. Основы разработки компьютерных моделей сложных систем: учеб. пособие [Текст]. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2012. – 256 с. ISBN 978-5-87978-829-7.
32. Моделирование в GPSS World. [Электронный ресурс] // <http://www.intuit.ru/studies/courses/643/499/lecture/11361> (дата обращения 30.03.2017).
33. Моделирование маршрутной сети городского пассажирского транспорта Нижнего Новгорода в AnyLogic. А.В. Липенков, О.А. Липенкова, М.Е. Елисеев [Электронный ресурс] // ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября. <http://www.anylogic.ru/articles/mod-elirovanie-marshrutnoy-seti-gorodskogo-passazhirskogo-transporta>, (дата обращения 18.03.2017).
34. Оптимизация маршрутной системы [Электронный ресурс] // URL: <http://maestria.ru/retro-stati/optimizatsiya-marshrutnoy-sistemyi.html> (дата обращения: 06.03.2016).
35. Розенберг, В.Я., Прохоров, А.И. Что такое теория массового обслуживания [Текст]. – М. Советское радио, 1965. – 254с.
36. Салмина Н.Ю. Имитационное моделирование : учебное пособие [Текст]. — Томск : Эль Контент, 2012. — 90 с. ISBN 978-5-4332-0067-8.
37. Советов, Б.Я., Яковлев, С.А. Моделирование систем: практикум: Учебное пособие для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.:Издательство Юрайт, 2016. — 296 с: ил. — ISBN: 978-5-9916-2858-7.
38. Советов, Б.Я., Яковлев, С.А. Моделирование систем: учеб. пособие для бакалавров [Текст]. – М.:Издательство Юрайт, 2012. –342с. ISBN: 978-5-9916-2698-9.
39. Сочнев, А.Н. Имитационное моделирование движения маршрутных автобусов [Электронный ресурс] // Электронный научно-практический

- журнал «Современные научные исследования и инновации». – 2012. №5.
<http://web.snauka.ru>.
40. Статьи GPSS World - [Форум программистов](http://forum.vingrad.ru/articles) [Электронный ресурс] // <http://forum.vingrad.ru/articles> /topic-274195/kw-gpss (дата обращения 14.03.2017).
41. Томашевский, В.Н., Жданова, Е.Г. Имитационное моделирование в среде GPSS [Текст]. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с. ISBN 5-8238-0574-8.
42. Усманова, А.Р., Зарипова, А.Б., Маликов, Р.Ф. Методология разработки научно-исследовательских имитационных моделей [Электронный ресурс] // Материалы седьмой Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика». ИММОД-2015. – Москва: ИПУ РАН, 2015. – Т.2. – С. 391-394. <http://simulation.su/static/ru-articles-2015.html> (дата обращения 18.03.2017).
43. Усманова А.Р., Маликов Р.Ф., Исхаков А.Р. Формирование научно-исследовательских компетенций инженеров на основе цифровых технологий моделирования // Инженерное образование, вып 26, 2019. - С.56-65.
44. Учебное руководство по системе GPSS World. — Режим доступа <http://www.minutemansoftware.com>, вход свободный.
45. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича: Учебное пособие [Текст]. – М.: Стройиздат, 2000. — 384 с.
46. Хинчин, А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания [Текст]. – М.: Изд-во «Физматлит», 1963 – 235с.
47. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука [Текст]. – М.: Мир, 1978. – 418с.
48. Шрайбер, Т.Дж. Моделирование на GPSS / Пер. с англ. В. И. Гаргера, И. Л. Шмуйловича; Ред. М. А. Файнберг [Текст]. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
49. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография [Текст]. – М.: Логос, 2013. – 188 с. ISBN 978-5-98704-729-3.
50. GPSS - [Форум](http://www.cyberforum.ru/gpss/) [Электронный ресурс] // <http://www.cyberforum.ru/gpss/> (дата обращения 14.03.2017).
51. Боженов П.И. Технология автоклавных материалов: Учебное пособие [Текст]. – Ленинград: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1978. – 367 с.
52. Павленко В.И., Тушева И.С. Радиационный мониторинг производства извести и силикатного кирпича: Учебное пособие [Текст] / Павленко В.И., Тушева И.С. – М., 2001. – 259 с.

Учебное издание

**Маликов Рамиль Фарукович
Усманова Аделя Рамилевна**

**Практикум по дискретно-событийному моделированию
сложных систем в среде GPSS Studio**

Подписано в печать 15.02.2021

Формат 60X84/16. Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman.

Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. – 24,8 Уч.-изд. л. – 24,6

Тираж 100 экз. Заказ №24

Издательство Башкирского государственного педагогического университета
им. М.Акмүллы

Маликов Рамиль Фарукович, профессор, доктор физико-математических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Системный анализ и математическое моделирование» Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акумуллы. Научные интересы профессора Р.Ф.Маликова сконцентрированы в области нелинейной оптики, математического моделирования сложных процессов и систем. Автор более 200 научных и учебно-методических работ, в том числе 17 книг. Отличник образования Республики Башкортостан (1998). Почетный работник ВПО РФ (2008). E-mail: rfmalikov@mail.ru



Усманова Аделя Рамилевна, кандидат географических наук, доцент кафедры геодезии, картографии и географических информационных систем Башкирского государственного университета. Научные интересы лежат в области физико-географических исследований Южного Урала и Приуралья с помощью информационных систем. E-mail: adelmalikova@mail.ru



Практикум по дискретно-событийному моделированию сложных систем в среде GPSS Studio (издание второе, измененное и дополненное)

В практикуме даны основные сведения по системе программирования GPSS и среде моделирования «GPSS Studio». Представлена парадигма об уровнях имитационного моделирования, согласно которой выработаны методические рекомендации по разработке имитационных моделей и проведению имитационных исследований (производственных процессов, транспортных сетей, систем массового обслуживания, информационных процессов в узлах компьютеров и вычислительных сетей) в среде GPSS Studio.

Предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям подготовки 09.00.00 - «Информатика и вычислительная техника», для преподавателей, аспирантов, а также для инженеров, научных работников, специализирующихся в области имитационного моделирования производственных, транспортных и других сложных систем.