



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ _____ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА _____ «Теоретическая информатика и компьютерные технологии»

Лабораторная работа №3
по курсу «Моделирование»
«Имитационное моделирование»

Студент группы ИУ9-81Б Окутин Д. А.

Преподаватель Домрачева А. Б.

Москва 2025

Цель работы

Целью данной работы является изучение имитационного моделирования и возможностей языка GPSS (General Purpose Simulation System). Применение его для реализации имитационной модели технических объектов, представленных в виде системы массового обслуживания.

Постановка задачи

Моделируется работа таможенного контроля для автотранспорта. Пост может обрабатывать 3 машины одновременно. На досмотр легковых автомобилей требуется 15 ± 2 минуты, на досмотр грузовых — 30 ± 2 минуты. Имеется зеленый коридор. Вероятность того, что приедет трейлер — 0,2.

Моделировать круглосуточную работу поста в течение месяца.

Теоретические сведения

Система массового обслуживания (СМО) — система, предназначенная для многократно повторяющегося (многоразового) использования при решении однотипных задач. Это модели систем, в которые в случайные моменты времени извне или изнутри поступают заявки (требования), которые должны тем или иным образом быть обслужены системой. Длительность обслуживания чаще всего случайна.

Имитационное моделирование является эффективным инструментом для изучения систем массового обслуживания, в которых случайные события и вероятностные распределения играют ключевую роль. Этот метод позволяет воспроизводить поведение сложных процессов, а также оценивать эффективность системы. С помощью имитационного моделирования можно проводить эксперименты с различными сценариями, что особенно актуально для систем, имеющих циклические или повторяющиеся этапы.

Язык GPSS (General Purpose Systems Simulator) является одним из специализированных средств для построения имитационных моделей систем массового обслуживания. Описание на языке GPSS есть совокупность операторов (блоков), характеризующих процессы обработки заявок. Имеются операторы и для отображения возникновения заявок, задержки их в ОА, занятия памяти, выхода из СМО, изменения параметров заявок (например, приоритетов), вывода на печать накопленной информации, характеризующей загрузку устройств и заполненность очередей. Существуют операторы, с помощью которых можно изменять значения любых параметров транзактов, и операторы, характер исполнения которых зависит от значений того или иного параметра обслуживаемого транзакта.

Практическая реализация

Рассмотрим модель работы таможенного поста, который обслуживает поток автомобилей. Пост может одновременно обрабатывать s машин. Машины прибывают с интервалом $A \pm \Delta A$, что даёт среднюю интенсивность потока:

$$\lambda = \frac{1}{A} \quad (1)$$

Распределим машины по категориям:

- Доля грузовых автомобилей: p_t .
- Доля легковых автомобилей: $1 - p_t$.
- Доля легковых автомобилей, проходящих по зелёному коридору: p_g .
- Доля легковых автомобилей, проходящих через обычный досмотр: $1 - p_g$.

Тогда интенсивности для каждого типа автомобилей:

$$\lambda_g = \lambda \cdot (1 - p_t) \cdot p_g, \quad (2)$$

$$\lambda_{car} = \lambda \cdot (1 - p_t) \cdot (1 - p_g), \quad (3)$$

$$\lambda_t = \lambda \cdot p_t. \quad (4)$$

Обозначим среднее время обработки для разных типов автомобилей: T_g , T_c , T_t . Тогда среднее время обработки одной машины:

$$E[T] = \lambda_g T_g + \lambda_{car} T_{car} + \lambda_t T_t. \quad (5)$$

Пост одновременно обслуживает s машин. Тогда загруженность поста выражается как:

$$\rho = \frac{\lambda_g T_g + \lambda_{car} T_{car} + \lambda_t T_t}{s}. \quad (6)$$

За период времени T_{total} таможенный пост обработает:

$$N = \min\left(\lambda \cdot T_{total}, \frac{T_{total} \cdot s}{E[T]}\right). \quad (7)$$

Перейдём к реализации имитационной модели. Исходный код представляет собой реализацию имитационной модели на языке GPSS, которая моделирует процесс работы поста.

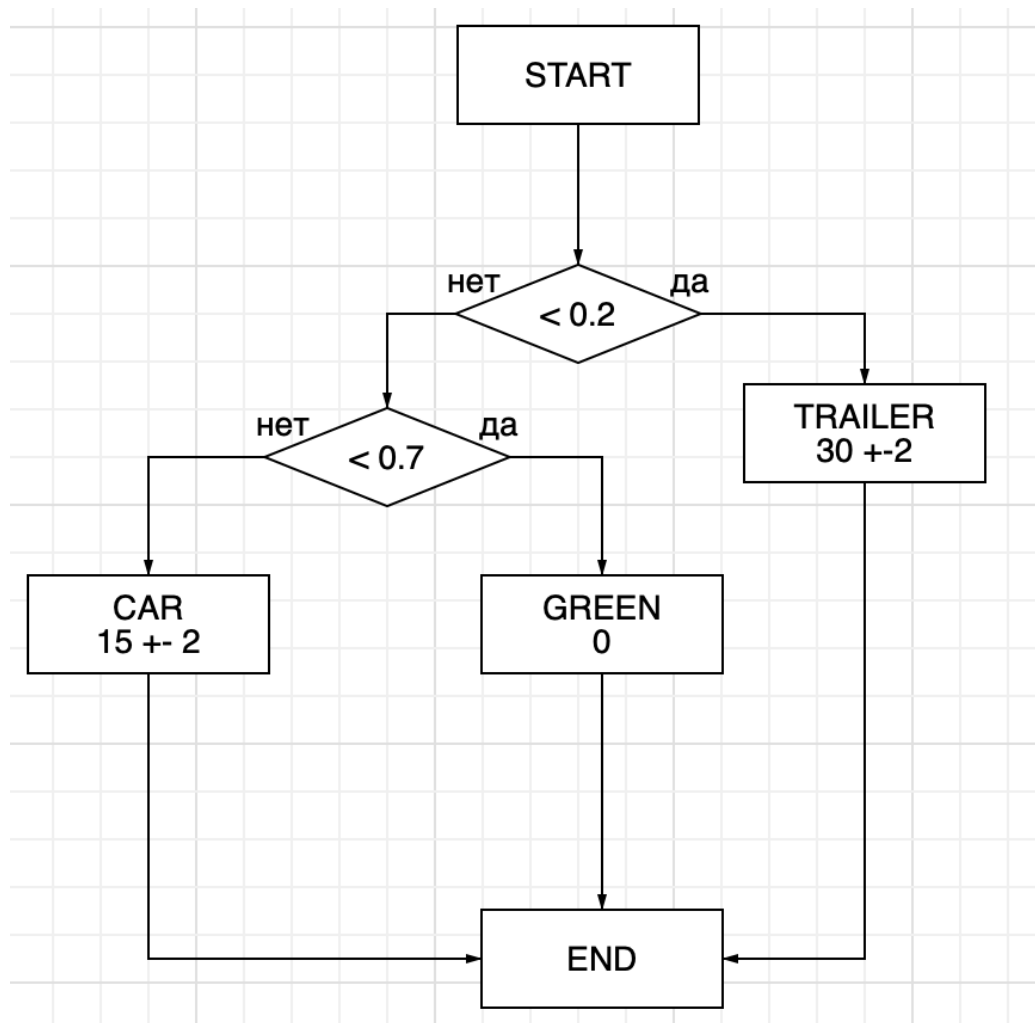


Рис. 1 — Схема GPSS модели

Данная GPSS-модель имитирует работу таможенного поста, который обрабатывает транспортные средства в течение одного месяца. Пост может одновременно проводить досмотр трёх автомобилей. В модели учтены легковые и грузовые автомобили, а также возможность прохождения легковыми автомобилями через «зелёный коридор».

Исходный код программы представлен в листинге 2.

Листинг 1: Исходный код

```

1 SIMULATE
2
3 CHECKPOINT STORAGE 3
4 GENERATE 10,5
5
6 TRANSFER 0.2 , , TRAILER
7 TRANSFER 0.7 , CARS, GREEN
8

```

9	CARS	QUEUE PostQueue
10		ENTER CHECKPOINT
11		DEPART PostQueue
12		ADVANCE 15,2
13		LEAVE CHECKPOINT
14		TERMINATE
15		
16	GREEN	QUEUE PostQueue
17		ENTER CHECKPOINT
18		DEPART PostQueue
19		ADVANCE 0,0
20		LEAVE CHECKPOINT
21		TERMINATE
22		
23	TRAILER	QUEUE PostQueue
24		ENTER CHECKPOINT
25		DEPART PostQueue
26		ADVANCE 30,2
27		LEAVE CHECKPOINT
28		TERMINATE
29		
30	GENERATE	43200
31	TERMINATE	1
32		
33	START	1
34	END	

Генерируется поток автомобилей каждые 10 минут (с отклонением 5 минут). Автомобили распределяются по типам: грузовые, легковые и автомобили, проходящие через "зелёный коридор". Автомобили ожидают своей очереди в соответствующей очереди. Автомобиль занимает один из доступных постов для прохождения через пункт. Автомобиль проходит через пункт, время прохождения зависит от типа автомобиля. Автомобиль освобождает пост после прохождения через пункт. Процесс повторяется для каждого автомобиля.

GENERATE: генерирует поток автомобилей. В данном случае, автомобили генерируются каждые 10 минут (с отклонением 5 минут).

TRANSFER: распределяет автомобили по типам. 20% автомобилей являются грузовыми, а 80% - легковыми. Среди легковых автомобилей 70% проходят через "зелёный коридор".

QUEUE: представляет собой очередь, в которой автомобили ожидают своей очереди для прохождения через пункт.

ENTER CHECKPOINT: автомобиль занимает один из доступных постов для прохождения через пункт.

DEPART: автомобиль покидает очередь после прохождения через пункт.

ADVANCE: время, необходимое для прохождения через пункт. Для легковых автомобилей это 15 минут (с отклонением 2 минуты), для автомобилей, проходящих через "зелёный коридор это 0 минут, а для грузовых автомобилей это 30 минут (с отклонением 2 минуты).

LEAVE CHECKPOINT: автомобиль освобождает пост после прохождения через пункт.

TERMINATE: завершение процесса для автомобиля.

CHECKPOINT STORAGE 3: количество доступных постов для прохождения через пункт.

Результаты работы

Машины приезжают каждые 10 ± 5 минут, что даёт среднюю интенсивность потока:

$$\lambda = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ машин в минуту} \quad (8)$$

Теперь распределим машины по типам:

- Легковые: 0.8
- Через зелёный коридор: 0.7, то есть $0.8 \times 0.7 = 0.56$
- Обычный досмотр: 0.3, то есть $0.8 \times 0.3 = 0.24$
- Грузовые: 0.2

Тогда интенсивности для каждого типа автомобилей:

$$\lambda_{\text{car}} = 0.1 \times 0.24 = 0.024 \text{ машин в минуту}, \quad (9)$$

$$\lambda_{\text{green}} = 0.1 \times 0.56 = 0.056 \text{ машин в минуту}, \quad (10)$$

$$\lambda_{\text{truck}} = 0.1 \times 0.2 = 0.02 \text{ машин в минуту}. \quad (11)$$

Средние времена обработки:

$$T_{\text{green}} = 0 \text{ мин}, \quad (12)$$

$$T_{\text{car}} = 15 \text{ мин}, \quad (13)$$

$$T_{\text{truck}} = 30 \text{ мин}. \quad (14)$$

Среднее время обработки одной машины с учётом вероятностей:

$$E[T] = (0.56 \times 0) + (0.24 \times 15) + (0.2 \times 30) \quad (15)$$

$$E[T] = 0 + 3.6 + 6 = 9.6 \text{ мин}. \quad (16)$$

Пост может одновременно обслуживать $s = 3$ машины. Загруженность системы:

$$\rho = \frac{\lambda_{\text{green}}T_{\text{green}} + \lambda_{\text{car}}T_{\text{car}} + \lambda_{\text{truck}}T_{\text{truck}}}{3} \quad (17)$$

$$\rho = \frac{(0.056 \times 0) + (0.024 \times 15) + (0.02 \times 30)}{3} \quad (18)$$

$$\rho = \frac{0 + 0.36 + 0.6}{3} = \frac{0.96}{3} = 0.32. \quad (19)$$

Таким образом, загруженность поста составляет 32%.

За $T_m = 43200$ минут (месяц) таможенный пост обработает:

$$N = \min(\lambda \cdot T_m, \frac{s \cdot T_m}{E[T]}) = \min(0.1 \times 43200, \frac{3 \cdot 43200}{9.6}) = \min(4320, 13500) = 4320 \quad (20)$$

Результат запуска имитационной модели представлены на листинге 2

Листинг 2: Результаты имитационного моделирования

1	===== SIMULATION 1 =====
2	
3	Relative Clock: 43200
4	Absolute Clock: 43200


```

5
6 Facilities: 0
7
8 Queues: 1
9
10 "PostQueue":
11     Maximum content: 2
12     Average content: 0.005
13     Total entries: 4293
14     Zero entries: 4235
15     Percent zeros: 98.65%
16     Avg. time/Trans.: 0.054
17     $ Avg. time/Trans.: 3.983
18     Current content: 0
19
20 Storages: 1
21
22 "CHECKPOINT":
23     Capacity: 3
24     Average content: 0.968
25     Avg. utilization: 32.25%
26     Entries: 4293
27     Avg. time/Trans.: 9.736
28     Maximum content: 3
29     Current content: 1
30     Remaining: 2
31     Available: yes

```

Заключение

Результаты имитационного моделирования работы таможенного поста и аналитических расчётов были сопоставлены для оценки его пропускной способности. Результаты показали высокую согласованность между двумя подходами.

Результаты имитационного моделирования:

- Среднее время обслуживания одной машины: 9.736 минут
- Загруженность таможенного поста составила: 32.25
- Пропускная способность поста за месяц составила: 4293

Результаты аналитического решения:

- Среднее время обслуживания одной машины: 9.6 минут
- Загруженность таможенного поста составила: 32
- Пропускная способность поста за месяц составила: 4320

Разработанная имитационная модель позволяет оценить эффективность работы таможенного поста при различных параметрах потока машин и времени обработки. Результаты имитационного моделирования и аналитических расчётов показали высокую согласованность, подтвердив корректность принятых допущений и выбранного подхода к моделированию. Разработанная модель может быть использована для оптимизации работы таможенного поста и улучшения его пропускной способности.