



**Министерство образования и науки 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, искусственный интеллект и системы управления

КАФЕДРА Теоретическая информатика и компьютерные технологии

## **Лабораторная работа**

по курсу «Моделирование»

**«Аналитические расчеты типовых систем массового  
обслуживания»**

Студент группы ИУ9-82Б Виленский С. Д.

Преподаватель Домрачева А. Б.

*Москва, 2025 г.*

## **ЦЕЛЬ**

Приобретение навыка аналитических расчетов типовых систем массового обслуживания.

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Вариант 4.

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

Моделировать круглосуточную работу поста в течение месяца.

## **ДОПОЛНЕНИЕ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ**

Исходя из наличия зеленого коридора можно предположить, что для полноты задачи требуется определить следующие параметры модели: вероятность зеленого коридора для легковой/грузовой машины и время проверки легковой/грузовой машины в зеленом коридоре.

При моделировании делается предположение о том, что время проверки машин в зеленом коридоре постоянно, а время проверки машин вне зеленого коридора распределено равномерно на указанном интервале. Также делается предположение о том, что все машины прибывающие на пост будут пропущены, то есть у поста нет возможности развернуть машину или вызвать полицию для последующего задержания потенциальных преступников.

Ключевой вычислительной задачей выбирается вычисление количества обслуженных машин. Второстепенной задачей ставится вычисление статистики по обслуженным машинам, такой как количество легковых/грузовых машин пропущенных по зеленому/красному коридору.

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Были введены краткие обозначения для входных данных для упрощения чтения последующих формул:

- $N = 3$  – количество пропускных пунктов;
- $t_{light\_red} = 15+2$  мин – время проверки легковой машины;
- $t_{hight\_red} = 30+2$  мин – время проверки грузовой машины;
- $p_{hight} = .2$  – вероятность прибытия грузовой машины;
- $t = 30*24*60$  мин = 43200 мин – интервал времени работы таможенного контроля;
- $p_{light\_green} = .3$  – вероятность зеленого коридора для легковой машины;
- $p_{heavy\_green} = .1$  – вероятность зеленого коридора для грузовой машины;
- $t_{light\_green} = 2$  мин – время проверки легковой машины в зеленом коридоре;
- $t_{heavy\_green} = 5$  мин – время проверки грузовой машины в зеленом коридоре.

Для построения аналитической модели в указанной предметной области и допущениями были сформулированы следующие формулы:

- $t_{light\_car} = t_{light\_red} * (1 - p_{light\_green}) + t_{light\_green} * p_{light\_green}$  – время проверки лековой машины;
- $t_{heavy\_car} = t_{heavy\_red} * (1 - p_{heavy\_green}) + t_{heavy\_green} * p_{heavy\_green}$  – время проверки грузовой машины;
- $t_{car} = t_{light\_car} * (1 - p_{hight}) + t_{heavy\_car} * p_{hight}$  – время проверки машины;

- $\text{count\_cars} = N * (t / t_{\text{car}})$   
– количество пропущенных машин за время  $t$ ;
- $\text{count\_light\_cars} = \text{count\_cars} * (1 - p_{\text{high}})$   
– количество пропущенных легковых машин;
- $\text{count\_heavy\_cars} = \text{count\_cars} * p_{\text{high}}$  – количество пропущенных грузовых машин;
- $\text{count\_light\_cars\_red} = \text{count\_light\_cars} * (1 - p_{\text{light\_green}})$  – количество пропущенных легковых автомобилей по красному коридору;
- $\text{count\_light\_cars\_green} = \text{count\_light\_cars} * p_{\text{light\_green}}$  – количество пропущенных легковых автомобилей по зеленому коридору;
- $\text{count\_haevy\_cars\_red} = \text{count\_heavy\_cars} * (1 - p_{\text{light\_green}})$  – количество пропущенных грузовых автомобилей по красному коридору;
- $\text{count\_heavy\_cars\_green} = \text{count\_heavy\_cars} * p_{\text{light\_green}}$  – количество пропущенных грузовых автомобилей по зеленому коридору.

Для вычисления выходных данных входные данные были подставлены в описанные формулы:

- $t_{\text{light\_car}} = 15 * (1 - .3) + 2 * .3 = 11.1$  мин
- $t_{\text{heavy\_car}} = 30 * (1 - .1) + 5 * .1 = 27.5$  мин
- $t_{\text{car}} = 11.1 * (1 - .2) + 27.5 * .2 = 14.38$  мин
- $\text{count\_cars} = 3 * (43200 / 14.38) = 9012$

- $\text{count\_light\_cars} = 9012 * (1 - .2) = 7210$
- $\text{count\_heavy\_cars} = 9012 * .2 = 1802$
- $\text{count\_light\_cars\_red} = 7210 * (1 - .3) = 5047$
- $\text{count\_light\_cars\_green} = 7210 * .3 = 2163$
- $\text{count\_heavy\_cars\_red} = 1802 * (1 - .1) = 1622$
- $\text{count\_heavy\_cars\_green} = 1802 * .1 = 180$

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

Для построения имитационной модели была написана программа для среды GPSS, реализующая поставленную задачу моделирования работы круглосуточного таможенного контроля на протяжении месяца. Код программы и результат моделирования представлены в листингах 1 и 2 соответственно. Блок-схема программы представлена на рисунке 1.

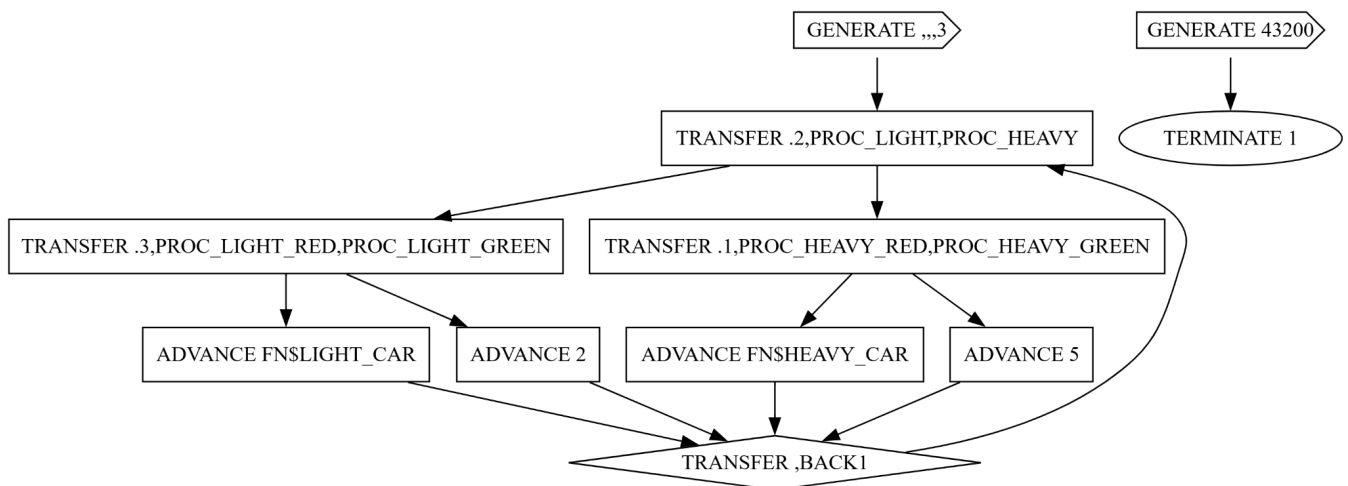


Рисунок 1 – Блок-схема имитационной модели

В результате моделирования были получены следующие данные:

- легковых автомобилей пропущено по зеленому коридору - 4976;
- легковых автомобилей пропущено по зеленому коридору - 2105;
- легковых автомобилей всего пропущено -  $4976 + 2105 = 7081$ ;
- грузовых автомобилей пропущено по зеленому коридору - 1666;
- грузовых автомобилей пропущено по зеленому коридору - 165;

- грузовых автомобилей всего пропущено -  $1666 + 165 = 1831$ ;
- всего автомобилей пропущено -  $7081 + 1831 = 8912$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В результате построения аналитической и имитационной моделей были получены выходные данные, результаты которых приведены и сравнены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Сравнение результатов разных моделей для легковых автомобилей

Модель	count_light_cars_red	count_light_cars_green	count_light_cars
Аналитическая	5047	2163	7210
Имитационная	4976	2105	7081
Относительная погрешность	0.014	0.027	0.018

Таблица 2 – Сравнение результатов разных моделей для грузовых автомобилей

Модель	count_heavy_cars_red	count_heavy_cars_green	count_heavy_cars
Аналитическая	1622	180	1802
Имитационная	1666	165	1831
Относительная погрешность	0.026	0.091	0.015

Таблица 3 – Сравнение результатов разных моделей для всех автомобилей

Модель	count_light_cars	count_heavy_cars	count_cars
Аналитическая	7210	1802	9012
Имитационная	7081	1831	8912
Относительная погрешность	0.018	0.015	0.011

Относительная погрешность для каждой из полученных пар значений вычислена как отношение абсолютной разницы соответствующих значений аналитической и имитационной моделей к значению имитационной модели, так как предполагается, что требуется проверка верности сформированной аналитической модели через прямую реализацию сформулированной задачи.

## ФРАГМЕНТЫ ИСХОДНОГО КОДА

Программная реализация модели и результат моделирования представлены в листингах 1-2.

### Листинг 1 – Исходный код программы для среды GPSS

```
10          SIMULATE
20  LIGHT_CAR      FUNCTION  RN1,D11

.091,13/.182,13.4/.273,13.8/.364,14.2/.455,14.6/.546,15/.636,15.4/.727
,15.8/.818,16.2/.909,16.6/1,17
30  HEAVY_CAR      FUNCTION  RN1,D11

.091,28/.182,28.4/.273,28.8/.364,29.2/.455,29.6/.546,30/.636,30.4/.727
,30.8/.818,31.2/.909,31.6/1,32

40  KEY           GENERATE  , , , 3
50  BACK1         TRANSFER  .2,PROC_LIGHT,PROC_HEAVY

60  PROC_LIGHT    TRANSFER  .3,PROC_LIGHT_RED,PROC_LIGHT_GREEN
70  PROC_LIGHT_RED ADVANCE      FN$LIGHT_CAR
80          TRANSFER  , BACK1
90  PROC_LIGHT_GREEN ADVANCE      2
100         TRANSFER  , BACK1

110  PROC_HEAVY    TRANSFER  .1,PROC_HEAVY_RED,PROC_HEAVY_GREEN
120  PROC_HEAVY_RED ADVANCE      FN$HEAVY_CAR
130         TRANSFER  , BACK1
```

```

140  PROC_HEAVY_GREEN      ADVANCE          5
150                      TRANSFER    ,BACK1

160                      GENERATE    43200
170                      TERMINATE    1
180                      START          1

```

## Листинг 2 – Результат моделирования

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
KEY	1	GENERATE	3	0	0
BACK1	2	TRANSFER	8915	0	0
PROC_LIGHT	3	TRANSFER	7084	0	0
PROC_LIGHT_RED	4	ADVANCE	4979	3	0
	5	TRANSFER	4976	0	0
PROC_LIGHT_GREEN	6	ADVANCE	2105	0	0
	7	TRANSFER	2105	0	0
PROC_HEAVY	8	TRANSFER	1831	0	0
PROC_HEAVY_RED	9	ADVANCE	1666	0	0
	10	TRANSFER	1666	0	0
PROC_HEAVY_GREEN	11	ADVANCE	165	0	0
	12	TRANSFER	165	0	0
	13	GENERATE	1	0	0
	14	TERMINATE	1	0	0

## ВЫВОДЫ

В результате выполнения лабораторной работы были реализованы аналитическая и имитационная модели и получены результаты моделирования для каждой на основе указанного примера входных данных.

Результаты вычислений для аналитической модели совпадают с результатами вычислений для имитационной модели с относительной погрешностью 1.1%, что говорит об адекватности построенной аналитической модели.



Низкие значения относительной погрешности для всех второстепенных выходных данных соответствуют факту устойчивости построенной аналитической модели на каждом этапе.