

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»  
ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ  
«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»**

*регистрационный номер*

**Факультет «Робототехника и комплексная автоматизация производства»**

**Кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»**

## **Разработка алгоритма управления системой светофоров**

Автор: Пилецкая Анастасия Александровна  
ГОУ лицей № 1580 при МГТУ им. Н.Э.Баумана  
Класс 11-7

Научный руководитель: Урусов Андрей Витальевич  
МГТУ им.Н.Э.Баумана  
Старший преподаватель кафедры РК-9

**Москва — 2011**

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| 1. Актуальность проблемы.....                           | 3  |
| 2. Цели работы.....                                     | 3  |
| 3. Описание объекта моделирования.....                  | 4  |
| 4. Причина выбора языка РДО.....                        | 4  |
| 5. Содержание работы.....                               | 5  |
| 5. 1. Часть 1 (генерирование транспортных средств)..... | 5  |
| 5. 2. Часть 2 (система управления светофорами).....     | 12 |
| 5. 2. 1. 1-ая СУ.....                                   | 12 |
| 5. 2. 2. 2-ая СУ.....                                   | 13 |
| 5. 3. Часть 3 (Отъезд транспортных средств).....        | 14 |
| 5. 4. Эксперименты.....                                 | 14 |
| 6. Выводы.....  | 20 |
| 7. Список использованных источников.....                | 20 |

## **1. Актуальность проблемы.**

Нетрудно заметить, что на дорогах часто образуются автомобильные пробки, увеличивающиеся из года в год в связи с увеличением количества транспортных средств. Автомобильные пробки приводят к дорожно-транспортным авариям, ухудшению экологии, а также, пробки на дорогах оказывают негативное влияние на эмоциональное состояние человека.

По сообщению начальника отдела дорожной инспекции и контроля за организацией дорожного движения управления ГИБДД ГУВД по Москве Александра Ходакова «Ежедневный московский трафик для улучшения транспортной ситуации необходимо сократить в среднем в 1,5 раза - до 400 тысяч автомобилей».

Данную ситуацию можно улучшить несколькими способами:

- 1) Расширение автомобильных дорог
- 2) Некие ограничения на использование автомобилей (ограничение ежегодного пробега для автомобиля)
- 3) Перехватывающие стоянки
- 4) Необходимое количество парковок
- 5) Развитие городского транспорта (развитие комфортности общественного транспорта, новые маршруты)
- 6) Корректная работа уборочной техники
- 7) Оптимальная работа светофоров.

Большинство из приведённых выше методов сокращения трафика являются очень затратными или займут много времени для их реализации, в то время как разработка системы управления светофорами не потребует большого количества финансовых вложений для её реализации.

## **2. Цели работы:**

- 1) Разработать систему управления светофорами с фиксированным временем переключения.
- 2) Разработать адаптивную систему управления, т.е. подстраивающуюся под дорожную ситуацию
- 3) Сравнить две этих системы управления, оценив их эффективность.

### **3. Описание объекта моделирования**

В данной работе предложена модель, разработанная на языке имитационного моделирования РДО.

Объект моделирования представляет собой Т-образный перекрёсток. Главная дорога — дорога с односторонним движением. Она состоит из четырёх полос. С неё возможен поворот направо на второстепенную дорогу. Второстепенная дорога — двухполосная дорога с двусторонним движением. С второстепенной дороги возможен поворот направо на главную дорогу.

На данный момент на главной дороге образуются пробки из-за неотрегулированной работы светофоров.

В данной работе предлагается альтернативная система управления системой светофоров, позволяющая регулировать движение транспортных средств.

### **4. Причина выбора языка РДО**

Данная работа выполнена на языке РДО по нескольким причинам. Во-первых, автомобильная дорога — сложная дискретная система. Дискретная система — это система, содержащая хотя бы один элемент дискретного действия.

Дискретный элемент — это элемент, выходная величина которого изменяется дискретно, т. е. скачками, даже при плавном изменении входных величин. Сложная система, составной объект, части которого можно рассматривать как системы, закономерно объединённые в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями.

Таким образом, автомобильная дорога — сложная дискретная система, т.к. она состоит из нескольких частей: полоса, транспортные средства и светофоры, и выходные величины объектов — транспортные средства и светофоры изменяются дискретно. Например: сигнал светофора дискретно меняется с красного на зелёный.

Во-вторых, язык имитационного моделирования РДО, в отличие от других языков имитационного моделирования, позволяет выполнять не только операции и нерегулярные события над объектами, но и описывать их поведение через продукционные правила, в то время как в других языках имитационного моделирования имеется только возможность моделирования непосредственных объектов.

## 5. Содержание работы

В ходе работы было разработано две модели, отличающиеся системами управления. Модели состоят из трёх частей, т. е. трёх подмоделей. Эти три модели работают асинхронно, т. е. независимо друг от друга.

1 часть генерирует поток машин, появляющихся на перекрёстке, на основе собранных статистических данных.

2 часть отвечает за моделирование системы управления светофорами. Она анализирует поток машин и формирует необходимые управляющие сигналы, подаваемые на светофор.

3 часть отвечает за уменьшение количества машин на дороге. Уменьшение количества машин происходит за счёт анализа сигнала светофора, подаваемого водителю автомобиля.

В работе разработано две системы управления светофорами:

- 1) с фиксированным временем переключения сигнала
- 2) адаптивную, которая бы анализировала движение транспортных средств, подстраиваясь под образованную ими пробку.

### 5. 1. Часть 1 (генерирование транспортных средств)

Для того, чтобы разработанная модель перекрёстка была адекватной, был произведён сбор статистических данных с объекта моделирования.

Первой целью для меня стало выявить время, когда длина пробки становится максимальной, чтобы понять, когда требуется автоматизация.

В течение одного дня с интервалом в час было измерено количество автомобилей, стоящих в пробке, по этим данным был построен график зависимости количества транспортных средств от времени суток.

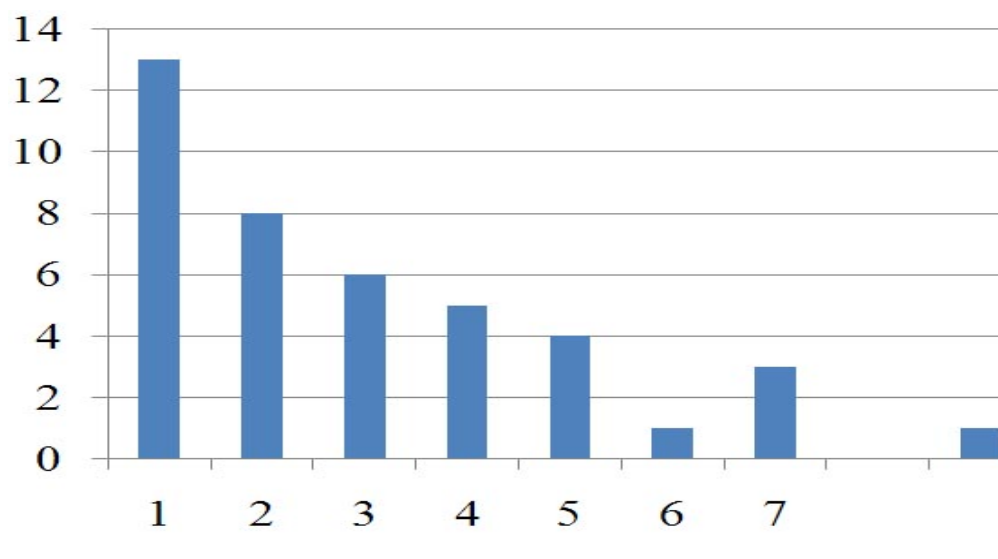
Таким образом, по собранным статистическим данным стало ясно, что количество машин достигает своего максимума в 18: 00, что также можно увидеть на построенном графике. Следовательно именно в это время требуется регулирование движения транспортных средств.

Затем ежедневно в течение недели было изучено движение транспортных средств на данном перекрёстке в 18:00, т. е. в то время, когда требуется автоматизация. Были произведены замеры временного интервала между приходом машин. Замеры производились при помощи секундомера. В среднем измерения проводились по сорок раз с целью повысить точность эксперимента. Сначала был измерен временной интервал между приходом машин на главной дороге. Ниже приведена таблица результатов.

| понедельник | вторник | среда | четверг | пятница | суббота | воскресенье |
|-------------|---------|-------|---------|---------|---------|-------------|
| 1,48        | 0,78    | 4,6   | 1,23    | 0,32    | 1,41    | 0,86        |
| 1,34        | 0,93    | 0,45  | 0,48    | 1,12    | 0,31    | 2,42        |
| 0,25        | 1,24    | 0,29  | 0,94    | 2,01    | 1,03    | 7,31        |
| 0,75        | 1,56    | 0,62  | 1,35    | 0,5     | 0,62    | 2,85        |
| 0,34        | 4,97    | 1,25  | 1,2     | 1,32    | 2,84    | 0,31        |
| 0,46        | 1,49    | 0,31  | 0,61    | 0,13    | 1,35    | 0,72        |
| 0,64        | 0,67    | 2,61  | 3,74    | 0,72    | 5,16    | 0,47        |
| 0,72        | 0,87    | 0,38  | 0,32    | 5,4     | 7,51    | 1,13        |
| 0,83        | 0,24    | 6,94  | 1,84    | 1,32    | 0,61    | 2,75        |
| 6,38        | 0,56    | 1,59  | 0,54    | 0,73    | 2,17    | 1,29        |
| 1,64        | 1,63    | 0,63  | 0,41    | 0,44    | 1,86    | 0,76        |
| 2,42        | 5,6     | 0,79  | 0,9     | 1,36    | 2,34    | 2,81        |
| 4,83        | 2,79    | 0,38  | 1,95    | 0,92    | 0,88    | 0,49        |
| 0,43        | 3,84    | 1,68  | 3,67    | 6,5     | 0,37    | 1,56        |
| 0,89        | 0,82    | 1,29  | 0,24    | 2,3     | 1,17    | 1,13        |
| 0,21        | 0,34    | 0,7   | 0,52    | 1,24    | 3,08    | 4,76        |
| 0,44        | 0,87    | 2,71  | 0,6     | 0,78    | 0,55    | 3,24        |
| 1,6         | 1,05    | 3,09  | 0,37    | 0,75    | 1,36    | 1,1         |
| 2,27        | 1,34    | 1,26  | 1,28    | 0,64    | 0,52    | 2,95        |
| 0,13        | 0,54    | 0,36  | 4,91    | 1,23    | 1,07    | 1,62        |
| 0,37        | 0,31    | 0,29  | 1,58    | 0,21    | 0,48    | 0,78        |
| 1,56        | 0,28    | 1,03  | 3,15    | 1,34    | 0,26    | 1,79        |
| 3,49        | 0,63    | 0,73  | 2,28    | 2,42    | 1,3     | 0,4         |
| 0,79        | 0,37    | 0,26  | 0,45    | 0,6     | 1,15    | 0,86        |

Таблица 1. Интервал между приходом транспортных средств на главную дорогу

Затем была построена гистограмма по одному из дней недели, чтобы понять, какому закону распределения подчиняется время между случайным приходом транспортных средств на транспортные полосы.



На гистограмме, построенной по этим данным, можно распознать экспоненциальное распределение. Далее по каждому из дней недели я вычислила математическое ожидание, т.е. меру среднего значения случайного приезда транспортных средств. Для этого я нашла среднее арифметическое между интервалами приезда транспортных средств по каждому дню недели.

| понедельник | вторник     | среда       | четверг    | пятница     | суббота     | воскресенье |
|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| $\mu=1,388$ | $\mu=1,405$ | $\mu=1,427$ | $\mu=1,44$ | $\mu=1,458$ | $\mu=1,642$ | $\mu=1,848$ |

Таблица 2. Математическое ожидание по каждому из дней недели (главная дорога)

Далее было найдено среднее арифметическое между полученными математическими ожиданиями по каждому из дней недели. В результате было получено число  $k_1 = 1,52$ , исходя из которого по экспоненциальному закону в модели генерируется приезд транспортных средств на полосы главной дороги.

После этого стало необходимым получить число, по которому должен генерироваться приезд транспортных средств на второстепенную дорогу. Для этого сначала были произведены замеры интервалов между приездом транспортных средств на второстепенную дорогу. Результаты представлены ниже в виде таблицы.

| понедельник | вторник | среда | четверг | пятница | суббота | воскресенье |
|-------------|---------|-------|---------|---------|---------|-------------|
| 11,34       | 2,74    | 11,64 | 7,82    | 7,51    | 9,86    | 10,16       |
| 10,21       | 8,04    | 9,82  | 12,04   | 8,46    | 6,04    | 8,04        |
| 3,87        | 10,41   | 5,89  | 10,69   | 3,75    | 9,58    | 5,96        |
| 10,49       | 3,53    | 8,9   | 11,58   | 10,05   | 7,17    | 11,17       |
| 9,71        | 11,85   | 12,51 | 8,26    | 12,58   | 9,08    | 15,38       |
| 13,37       | 8,92    | 10,62 | 10,17   | 6,82    | 11,5    | 9,76        |
| 7,49        | 10,39   | 13,84 | 2,94    | 9,17    | 10,86   | 12,15       |
| 4,31        | 9,09    | 1,17  | 3,86    | 4,32    | 12,37   | 16,61       |
| 18,48       | 11,38   | 12,74 | 14,62   | 2,18    | 9,39    | 9,76        |
| 11,36       | 10,71   | 10,24 | 11,63   | 13,65   | 9,64    | 11,28       |
| 12,87       | 9,79    | 9,05  | 9,72    | 11,86   | 17,09   | 10,27       |
| 9,76        | 15,34   | 11,79 | 10,38   | 10,52   | 11,81   | 13,52       |

Таблица 3. Интервал между приездом транспортных средств на второстепенную дорогу

Ранее, построив гистограмму по данным таблицы интервалов между приездом транспортных средств на главную дорогу, я убедилась, что случайное время между приездом транспортных средств подчиняется экспоненциальному распределению. Таким образом, передо мной стояла цель получить математическое ожидание для интервала между приездом машин на второстепенной дороге. Для этого я посчитала сначала математическое ожидание по каждому из дней недели. Результаты представлены в виде таблицы.

|              |             |            |             |             |              |              |
|--------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| понедельник  | вторник     | среда      | четверг     | пятница     | суббота      | воскресенье  |
| $\mu=10,272$ | $\mu=9,349$ | $\mu=9,85$ | $\mu=9,476$ | $\mu=8,406$ | $\mu=10,366$ | $\mu=11,172$ |

Таблица 4. Математическое ожидание по каждому из дней недели (второстепенная дорога)

После этого было посчитано среднее арифметическое между полученными по каждой неделе математическими ожиданиями, получив число  $k_2 = 9,842$ , исходя из которого в модели генерируется приезд транспортных средств на второстепенную дорогу.

Также было изучено процентное соотношение легковых автомобилей, микроавтобусов, автобусов и троллейбусов, приезжающих на перекрёсток. Наблюдения происходили в течение десяти минут. За это время всего на перекрёсток приехало 473 транспортных средства. Из них 422 легковых автомобилей, 30 микроавтобусов, 12 троллейбусов и 9 автобусов. Получив эти значения, появилась возможность посчитать процентное соотношение разных типов транспортных средств, приезжающих на полосы. Таким образом, 89 % приезжающих транспортных средств — легковые автомобили, 6 % - микроавтобусы, 3 % - троллейбусы и 2 % - автобусы.

Ещё одним этапом сбора статистических данных стало выявление того, с какой вероятностью автомобили приезжают на ту или иную полосу главной дороги. Для второстепенной дороги это не требовалось, т.к. на ней количество возможных входных полос равно единице. Наблюдения производились в течение 5 минут. Количество транспортных средств, приехавших за это время на первую полосу — 54, на вторую — 56, на третью — 57, на четвёртую — 60. В результате было получено, что 23,5 % приезжающих на главную дорогу транспортных средств приезжают на первую полосу, 24,5 % - на вторую, 25% - на третью и 27 % - на четвёртую. Процент транспортных средств, приезжающих на четвёртую полосу больше, чем процент транспортных средств, приезжающих на первую, вторую и третью полосы, т. к. часть водителей становятся на четвёртую полосу с целью повернуть на второстепенную дорогу.



Когда сбор необходимых статистических данных был завершён, появилась возможность перейти к написанию 1 части модели, т. е. к генерированию транспортных средств.

В этой части модели используются ресурсы «Полосы», «Дороги» и «Транспортные\_средства». Ресурс «Полоса» имеет тип permanent, т. к. полосы всегда присутствует в модели, он не создаётся и не уничтожается время прогона.

Ресурс «Транспортные\_средства» имеет тип temporary, т. к. этот ресурс во время прогона создаётся при выполнении нерегулярных событий. Параметры ресурса «Транспортные\_средства»: «Тип», «Состояние», «Время\_прибытия», «Номер\_полосы». Параметр «Тип» может иметь значения «легковой», «микроавтобус», «троллейбус», «автобус». Параметр «Состояние» может принимать значения «приезжает», «стоит», «движется», «уезжает», «уехала». Параметр «Время\_прибытия» имеет вещественный тип. Параметр «Номер\_полосы» имеет такой же тип, как параметр «Номер\_полосы» ресурса «Полосы».

Параметры ресурса «Полоса»: «Номер\_полосы», «Количество\_ТС», «Длина\_пробки», «Состояние», «Дорога». Параметр «Номер\_полосы» может принимать значения «полоса\_1», «полоса\_2», «полоса\_3», «полоса\_4», «полоса\_5», «полоса\_6», «полоса\_7», «полоса\_8», «полоса\_9», «полоса\_10», «не определена». Параметр «Количество\_ТС» имеет целый тип, значение по умолчанию задано равным 0. Параметр «Длина\_пробки» имеет вещественный тип, значение по умолчанию задано равным 0.0. Параметр «Состояние» может принимать значения «стоит», «продвигается». Параметр «Состояние» принимает значение «стоит» в тот момент, когда транспортные средства приезжают на полосу или становятся в её конец и значение «продвигается», когда машины начинают уезжать с полосы. Параметр «Дорога» имеет значение «главная», если полоса, на которую приезжает автомобиль принадлежит главной дороге и «второстепенная», если полоса, на которую приезжает автомобиль принадлежит второстепенной дороге.

Ресурс «Дороги» постоянный, он не уничтожается и не создаётся во время прогона. Параметр «Количество\_ТС\_на\_дороге» имеет целочисленный тип, значение по умолчанию равно нулю. Параметр «Дорога» может принимать значения «главная» и второстепенная.

Затем были описаны функции и последовательности. Первой необходимой последовательностью стала последовательность «Интервал\_приезда\_машин», результатом которой является поток псевдослучайных чисел для интервала между приездом транспортных средств в модели. На основании анализа статистических данных, эта последовательность имеет тип exponential, т. е. это последовательность псевдослучайных чисел, распределённых по экспоненциальному закону. Далее была описана

последовательность «Розыгрыш\_типа\_транспортного\_средства». Её результатом является поток псевдослучайных чисел для типа транспортного средства, приезжающего на перекрёсток. Эта последовательность имеет тип `by_hist`, т. е. это последовательность псевдослучайных чисел, заданных гистограммой. Розыгрыш типа транспортного средства в модели происходит, исходя из статистических данных. Как было описано ранее, процентное соотношение легковых автомобилей, микроавтобусов, троллейбусов и автобусов, приезжающих на перекрёсток, равно 89/6/3/2. Исходя из этого процентного соотношения, в модели происходит розыгрыш типа транспортного средства, приезжающего на перекрёсток. Последовательность «Розыгрыш\_полосы\_главной\_дороги» возвращает номер полосы главной дороги, на которую приезжает автомобиль в модели. Последовательность имеет тип `by_hist`. Розыгрыш полосы так же происходит на основе статистических данных. На реальном перекрёстке 23,5% транспортных средств приезжают на первую полосу, 24% — на вторую, 24,5% — на третью и 27% — на четвёртую. В модели приезд транспортных средств на каждую из полос происходит в таком же процентном соотношении. Далее были заданы необходимые функции. Функция «Длина\_машины» имеет тип `table`, т.е. это функция типа таблица. Эта функция имеет параметр «Параметр\_1», имеющий такой же тип значения функции, как параметр «Тип» ресурса «Транспортные\_средства». В теле функции заданы числовые значения каждого из возможных значений параметра «Тип». Эти числовые значения отражают длину каждого из типов транспортных средств в метрах. Длина легкового автомобиля равна 2,5 метра, микроавтобуса — 4 метра, троллейбуса — 10 метров, автобуса — 11 метров. Каждая машина по приезде имеет свою координату. Чтобы каждое транспортное средство на полосе встало на нужное место, была создана функция «Положение\_новой\_машины». Тип значения этой функции `real`, это функция алгоритмического типа. Параметром функции «Положение\_новой\_машины» является `длина_пробки` вещественного типа. В теле функции описаны два условия: когда длина пробки равна нулю, положение новой машины равно нулю. В остальных случаях положение новой машины рассчитывается, как сумма длины пробки, которая также будет являться положением для задней части автомобиля, и интервала между машинами, заданному ранее, как константа. Затем была описана функция, необходимая для определения моделью типа дороги по номеру полосы. Эта функция называется «Дорога», имеющая тип значения функции такой же, как параметр «Дорога» ресурса «Полосы». Тип функции «Дорога» `algorithmic`, т. е. это функция алгоритмического типа. Параметр этой функции имеет имя «номер\_полосы». Его тип такой же, как тип параметра «Номер\_полосы» ресурса «Полосы». В теле функции описаны условия определения принадлежности полосы к главной или второстепенной дороге.

База знаний модели состоит из операций и образцов. Для получения адекватной модели, генерирующей проезд транспортных средств, были описаны образцы, имитирующие проезд транспортных средств. Первый образец имеет имя «Образец\_Прибытие\_на\_главную\_дорогу». Этот образец типа `irregular_event`, т. е. образец, описывающий нерегулярное события, в данном случае — проезд транспортных средств на главную дорогу. Релевантным ресурсом для этого образца является «Новое\_транспортное\_средство», его описателем является ресурс «Транспортные\_средства», создаваемый в этом образце. Этот образец длится 1,52 секунды. Эта цифра получена в процессе сбора статистических данных по интервалу между приходом транспортных средств на главную дорогу. В теле образца параметр «Тип» определяется функцией «Розыгрыш\_типа\_транспортного\_средства». Таким образом количество транспортных средств определённого типа в модели и на реальном перекрёстке одинаково. В этом образце параметр «Состояние» принимает значение «приезжает». Время прибытия транспортного средства равно модельному времени на момент прибытия транспортного средства. Номер полосы, на которую приезжает транспортное средство, также разыгрывается, исходя из функции «Розыгрыш\_полосы\_главной\_дороги». Положение транспортного средства в момент приезда не фиксировано, а время отъезда неизвестно, поэтому они принимают значения, равные -100 и -200 соответственно исключительно для того, чтобы в процессе трассировки обратить внимание на то, что машина ещё только создана. Аналогичный образец написан и для второстепенной дороги. Он имеет название «Образец\_Прибытие\_на\_второстепенную\_дорогу». Различие между этим образцом и образцом, описывающим генерирование транспортных средств на главной дороге, в длительности операции. В данном случае длительность операции равна 9,84, также на основании статистических данных. После приезда транспортного средства на перекрёсток, оно становится в конец пробки. Этот процесс было необходимо симитировать и в модели. Для этого был заведён образец «Образец\_В\_конец\_полосы», имеющий тип `rule`, т. е. это образец, описывающий продукционное правило. В этом образце используются релевантные ресурсы: «\_ТС», «\_Полоса», «\_Дорога». Описателем релевантного ресурса «\_ТС» является ресурс Транспортные средства, «\_Полоса» — Полосы, «\_Дорога» — Дороги. Статус каждого из конверторов Кеер, т. е. релевантный ресурс сохраняется, но его состояние (значение параметров) изменяется. В теле образца первоначально описывается релевантный ресурс «\_ТС». Предусловием для него является нахождение транспортных средств в состоянии «приезжает», тогда для него выполняется продукционное правило, по которому машины, удовлетворяющие этому предусловию

переходят в состояние «стоит», а транспортное средство принимает определённое положение, определяемое функцией `Положение_новой_машины`. Затем описывается релевантный ресурс «`Полоса`». Для него предусловием является совпадение номера полосы, на которую приехало транспортное средство с номером полосы, над которой совершается продукционное правило. Тогда для полосы, на которую приехала машина, количество транспортных средств увеличивается на единицу, и длина пробки определяется, как сумма двух функций: «`Положение_новой_машины`» и «`Длина_машины`». Последним описывается релевантный ресурс «`Дорога`». Для этого релевантного ресурса предусловием является принадлежность полосы, на которой находится транспортное средство, определённой дороге. При выполнении этого условия по приезде транспортного средства в конец полосы число транспортных средств на дороге, на которую оно приехало, увеличивается на единицу.

## **5. 2. Часть 2 (система управления светофорами)**

### **5. 2. 1. 1-ая система управления**

Первая система управления не зависит от выстроившейся перед светофором пробки.

Для написания этой модели понадобилось создание ресурса «Светофор». Это постоянный ресурс, имеющий 4 параметра: «Сигнал», способный принимать значения «красный», «жёлтый», «зелёный»; «Время\_зелёного»; «Время\_красного» вещественного типа и «Дорога», имеющий такой же тип, как и параметр «Дорога» ресурса «Дороги». Данная модель полностью построена на продукционных правилах.

Образец «Образец\_Переключение\_сигнала\_светофора\_1\_на\_зелёный» имеет два параметра: «Дорога», имеющий такой же тип, как и параметр «Дорога» ресурса «Светофоры» и «Длительность», имеющий вещественный тип. Релевантный ресурс «Светофор\_1», описателем которого является ресурс «Светофоры», имеет статус конвертора Кеер. Для светофора предусловием является его принадлежность к определённой дороге, горение красного сигнала, а также условие того, что текущее модельное время больше либо равно сумме времени, когда начал гореть красный, и параметра «Длительность». При выполнении этих условий светофор переключается на зелёный, и в модели запоминается время, когда начал гореть зелёный. Для операции «Переключение\_сигнала\_светофора\_1\_на\_зелёный» значение параметра «Дорога» имеет значение «главная», а длительность равна 20 секундам. Значение 20 будет впоследствии

меняться с целью найти время оптимальной длительности горения сигнала светофора. Аналогично этому описывается образец «Образец\_Переключение\_сигнала\_светофора\_1\_на\_красный». Его длительность равна 10 секундам, также временно. Работа второго светофора полностью зависит от работы первого. Светофоры работают в противофазе, т. е. когда для светофора главной дороги горит зелёный свет, для второстепенной — красный и наоборот. Эти операции были описаны двумя образцами: «Образец\_Переключение\_сигнала\_светофора\_2\_на\_зелёный» и «Образец\_Переключение\_сигнала\_светофора\_2\_на\_красный». Данная система управления используется в первой модели.

## 5. 2. 2. 2-ая система управления

Вторая система управления светофорами зависит от длины выстроившейся перед ним пробки. Логика управления светофором написана на образцах типа rule, т. е. на производственных правилах.

При описании данной СУ используются те же ресурсы, что и при описании первой СУ.

Образец «Образец\_Переключения\_сигнала\_светофора1\_на\_зелёный» имеет два параметра: «Дорога», имеющий такой же тип, как параметр «Дорога» ресурса «Светофоры», и «Дорога1», имеющий такой же тип, как параметр «Дорога» ресурса «Дороги». Релевантный ресурс «\_Дорога1», описателем которого является ресурс «Дороги», имеет статус конвертора NoChange, релевантный ресурс «\_Светофор1», описателем которого является ресурс «Светофоры», имеет статус конвертора Кеер. Для релевантного ресурса «\_Дорога1» проверяется условие того, что количество транспортных средств на главной дороге больше либо равно 20. Для релевантного ресурса «\_Светофор1» предусловием является нахождение сигнала светофора в состоянии «красный». При выполнении этих условий сигнал светофора главной дороги становится зелёным. Для образца «Образец\_Переключения\_сигнала\_светофора1\_на\_красный» проверяется условие того, что количество транспортных средств на главной дороге меньше 20 и что сигнал светофора главной дороги зелёный. В случае выполнения этих условий, сигнал светофора становится красным. Второй светофор работает по тому же принципу, что и в первой СУ — зеркально первому: во время работы зелёного сигнала на главной дороге светофор второстепенной дороги работает в режиме красного сигнала, если сигнал светофора главной дороги красный, сигнал светофора второстепенной дороги зелёный. Данная система управления используется во второй модели.

### 5. 3. Часть 3 (Отъезд транспортных средств)

Для корректной работы модели перекрёстка необходимо написать модель, в которой транспортные средства уезжают с перекрёстка.

В этой модели используются 4 ресурса: «Транспортные\_средства», «Светофоры», «Дороги», «Полосы».

Длительность образца «Образец\_Отъезда\_машин» зависит от длины уезжающей машины. Она равна отношению длины машины к 35 км/ч, т. е. к средней скорости отъезда транспортных средств. Для того, чтобы машины уезжали, необходимо, чтобы сигнал светофора был зелёным, транспортные средства находились в состоянии «стоит» и имели нулевое положение относительно начала полосы, и полоса (весь поток машин на полосе) стояла. Тогда транспортные средства переходят в состояние «уезжает». При этом полоса начинает продвигаться, как и на реальной дороге, количество транспортных средств на полосе, с которой уехала машина, и на дороге, на которой находилась машина, уменьшается на единицу, а длина пробки уменьшается на длину уехавшей машины и интервал между машинами. После отъезда транспортного средства с перекрёстка, оно удаляется, и каждая машина движущейся полосы начинает двигаться. Транспортное средство, находящееся первым в полосе, движется до тех пор, пока его координата не станет нулевой, после чего оно уезжает и удаляется при зелёном сигнале светофора. Если сигнал светофора красный, первая машина останавливается на нулевой позиции, остальные становятся за ней. Полоса заканчивает продвигаться и переходит в состояние «стоит», когда каждая машина на ней переходит в состояние «стоит».

### 5. 4. Эксперименты.

Как говорилось ранее, было разработано две системы управления светофорами: с фиксированным временем переключения (первая) и адаптивная (вторая). Чтобы выяснить, какая система управления эффективнее, с моделями была проведена серия экспериментов. Движение транспортных средств на перекрёстке моделируется в течение часа, т. е. в течение часа пик, как и на реальном перекрёстке.

Было изучено три показателя: длина пробки, время, проведённое транспортным средством в пробке, количество транспортных средств, находящихся в пробке.

Для получения результатов, максимально близких к точным, было произведено несколько экспериментов с моделями.

При проведении экспериментов с моделью, содержащую первую систему управления, для каждого эксперимента изменялась длительность сигнала красного и зелёного светофора главной дороги с целью выявить режим работы данной СУ, максимально облегчающую дорожно-транспортную ситуацию на дороге. В течение каждого из экспериментов было произведено 5 замеров, для каждого из которых менялась база генераторов чисел, по которым в модели осуществляется поток псевдослучайных значений для интервала между приездом машин, для розыгрыша типа приезжающего транспортного средства и для розыгрыша номера полосы, на которую приезжает транспортное средство.

При проведении экспериментов с моделью, содержащую вторую систему управления, длительность сигнала светофора менять не требовалось, поэтому менялись только базы генератора.

Условно назовём базу генератора для последовательности «Интервал\_приезда\_машин» «База генератора 1»(б.г. 1), для функции «Розыгрыш\_типа\_транспортного\_средства» - «База генератора 2»(б.г. 2), для функции «Розыгрыш\_полосы\_главной\_дороги» - «База генератора 3»(б.г. 3).

В показателях выводится информация о средней длине пробки на каждой полосе. Длина пробки на дороге была посчитана вручную, как среднее арифметическое между средней длиной автомобильной пробке на каждой полосе. Также в модели подсчитывается число машин, уехавших с перекрёстка. Используя эту величину была посчитана пропускная способность перекрёстка, как отношение числа уехавших машин к длительности модельного времени, т.е. к 60 минутам. Среднее время, проведённое транспортными средствами, находящимися на определённой полосе, также подсчитывается в модели. Это значение считается для каждой полосы. Для получения значения среднего времени, которое придётся затрачивать водителю, чтобы уехать с перекрёстка с момента постановки в конец полосы при данной СУ, было посчитано как среднее арифметическое между значениями среднего времени, в течение которого транспортное средство находится в пробке. Результаты экспериментов представлены ниже в виде таблиц.

| № замера | б.г. 1    | б.г.2     | б.г.3     | длина пробки,м | время в пробке,с | пропускная способность перекрёстка, кол-во машин/мин |
|----------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------------|--|
| 1        | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 14,04          | 6,5              | 98   |
| 2        | 25664     | 25664     | 25664     | 14,13          | 6,1              | 97   |
| 3        | 100000    | 100000    | 100000    | 14,29          | 5,93             | 99   |
| 4        | 666666    | 666666    | 666666    | 14,23          | 6,6              | 97   |
| 5        | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 13,86          | 6,5              | 95   |

Таблица 5. Результаты экспериментов, проведённых с первой моделью

| № эксперимента | длительность зелёного,с | длительность красного,с | № замера | б.г. 1    | б.г.2     | б.г.3     | длина пробки, м | время в пробке,с | пропускная способность перекрёстка, маш/с |
|----------------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|------------------|---|
| <b>16</b>      |                         |                         |          |           |           |           |                 |                  |   |
| 1              | 15                      | 10                      | 1        | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 81,38           | 60,08            | 54  |
| 1              | 15                      | 10                      | 2        | 25664     | 25664     | 25664     | 56,68           | 39,2             | 63  |



|   |    |    |   |           |           |           |       |       |    |
|---|----|----|---|-----------|-----------|-----------|-------|-------|----|
| 1 | 15 | 10 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 73,2  | 57,9  | 59 |
| 1 | 15 | 10 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 65,56 | 45,58 | 60 |
| 1 | 15 | 10 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 79,1  | 58,63 | 57 |
| 2 | 25 | 10 | 1 | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 64,16 | 55,96 | 62 |
| 2 | 25 | 10 | 2 | 25664     | 25664     | 25664     | 58,61 | 49,82 | 64 |
| 2 | 25 | 10 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 49,08 | 38,06 | 67 |
| 2 | 25 | 10 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 54,75 | 43,16 | 66 |
| 2 | 25 | 10 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 48,92 | 37,6  | 68 |
| 3 | 30 | 10 | 1 | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 56,81 | 48,28 | 65 |
| 3 | 30 | 10 | 2 | 25664     | 25664     | 25664     | 58,94 | 50,04 | 64 |
| 3 | 30 | 10 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 47,35 | 37,64 | 61 |
| 3 | 30 | 10 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 44,31 | 36,25 | 68 |
| 3 | 30 | 10 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 51,74 | 41,91 | 59 |
| 4 | 35 | 10 | 1 | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 48,92 | 37,9  | 67 |
| 4 | 35 | 10 | 2 | 25664     | 25664     | 25664     | 51,04 | 38,61 | 65 |
| 4 | 35 | 10 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 44,38 | 36,27 | 70 |
| 4 | 35 | 10 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 45,12 | 36,44 | 68 |
| 4 | 35 | 10 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 46,34 | 37,17 | 67 |
| 5 | 40 | 10 | 1 | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 41,17 | 35,17 | 74 |
| 5 | 40 | 10 | 2 | 25664     | 25664     | 25664     | 39,86 | 34,61 | 76 |
| 5 | 40 | 10 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 37,27 | 33,81 | 78 |
| 5 | 40 | 10 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 38,64 | 34,09 | 77 |
| 5 | 40 | 10 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 41,02 | 35,1  | 74 |
| 6 | 40 | 15 | 1 | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 41,17 | 36,85 | 70 |
| 6 | 40 | 15 | 2 | 25664     | 25664     | 25664     | 39,86 | 36,13 | 71 |
| 6 | 40 | 15 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 37,27 | 35,88 | 72 |
| 6 | 40 | 15 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 38,64 | 37,53 | 68 |
| 6 | 40 | 15 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 41,02 | 36,56 | 70 |
| 7 | 50 | 15 | 1 | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 33,07 | 31,86 | 83 |
| 7 | 50 | 15 | 2 | 25664     | 25664     | 25664     | 32,81 | 31,54 | 84 |
| 7 | 50 | 15 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 33,47 | 32,02 | 85 |
| 7 | 50 | 15 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 31,85 | 31,89 | 87 |
| 7 | 50 | 15 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 32,94 | 32,6  | 84 |
| 8 | 60 | 15 | 1 | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 31,17 | 30,64 | 87 |
| 8 | 60 | 15 | 2 | 25664     | 25664     | 25664     | 32,69 | 31,48 | 86 |
| 8 | 60 | 15 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 32,87 | 31,58 | 86 |
| 8 | 60 | 15 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 31,94 | 30,94 | 87 |
| 8 | 60 | 15 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 30,71 | 29,83 | 88 |
| 9 | 70 | 15 | 1 | 123456789 | 123456789 | 123456789 | 30,24 | 29,68 | 89 |
| 9 | 70 | 15 | 2 | 25664     | 25664     | 25664     | 31,86 | 30,76 | 87 |
| 9 | 70 | 15 | 3 | 100000    | 100000    | 100000    | 31,22 | 30,01 | 88 |
| 9 | 70 | 15 | 4 | 666666    | 666666    | 666666    | 30,67 | 29,74 | 89 |
| 9 | 70 | 15 | 5 | 1024625   | 1024625   | 1024625   | 32,08 | 31,06 | 86 |

Таблица 6. Результаты экспериментов, проведённых с первой моделью.

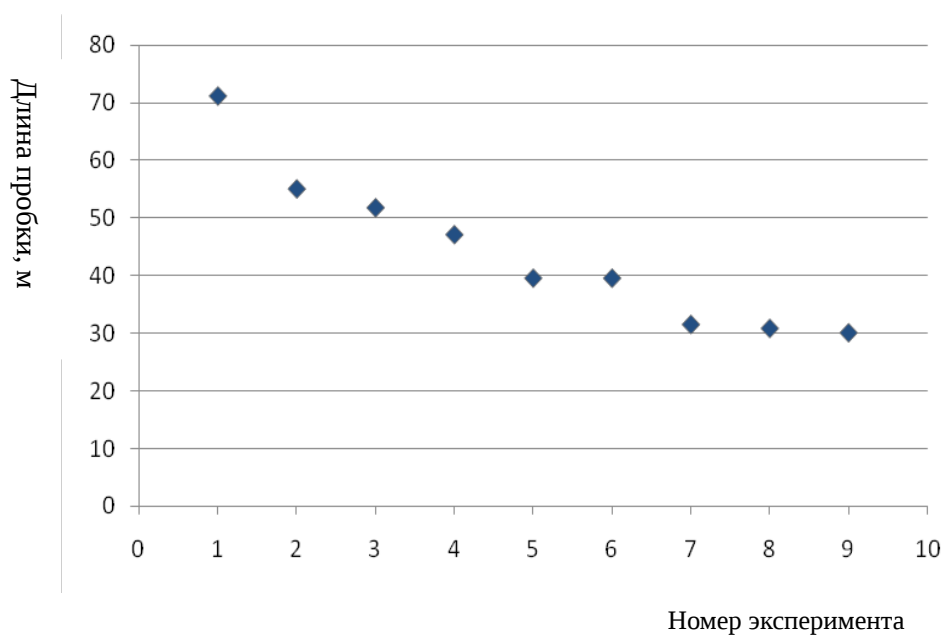
Для каждого эксперимента была посчитана средняя длина пробки, как среднее арифметическое между длиной пробки для каждого замера. Результаты представлены в виде таблицы.

| № эксперимента | средняя длина пробки, м |
|----------------|-------------------------|
| 1              | 71,2                    |
| 2              | 55,1                    |
| 3              | 51,83                   |
| 4              | 47,16                   |
| 5              | 39,6                    |
| 6              | 39,6                    |
| 7              | 31,58                   |
| 8              | 30,89                   |
| 9              | 30,13                   |

Таблица 7. Длина пробки при изменяющейся длительности сигнала светофоров.

17

Затем был построен график зависимости длины пробки от номера эксперимента, чтобы выбрать оптимальный режим работы первой системы управления.



Как видно по построенному графику, длина пробки становится достаточно малой с

пятого эксперимента. Но во время пятого эксперимента длина пробки на второстепенной дороге становилась слишком высокой. Это происходит из-за того, что зелёный сигнал светофора второстепенной дороги имел недостаточную длительность. Как было сказано ранее, работа светофора второстепенно дороги зависит от работы светофора главной дороги. Поэтому длительность красного сигнала главной дороги была увеличена, после чего зелёный сигнал светофора второстепенной дороги имел достаточную длительность, чтобы на второстепенной дороге не образовывалась чрезмерно длинная пробка.

Продолжая увеличивать длительность зелёного светофора главной дороги, были получены достаточно хорошие результаты в опытах 7, 8 и 9. По сравнению с 6 опытом длина пробки, полученная в 7 опыте, значительно уменьшилась, почти на 10 метров, в то время как в 8 и 9 опытах она почти не изменялась. Кроме того увеличение длительности работы зелёного сигнала светофора на главной дороге снова привело к образованию пробок на второстепенной дороге во время 8 и 9 опытов. Смысла увеличивать длительность зелёного сигнала светофора на второстепенной дороге не было: начиная с восьмого опыта, зелёный сигнал горит на главной дороге настолько длительно, что водителям пришлось бы долго ждать зелёного сигнала, чтобы уехать с второстепенной дороги, что негативно воздействует на их эмоциональное состояние, с чем отчасти проект направлен бороться.

Таким образом, был сделан вывод о том, что в седьмом опыте получены лучшие

**18**

значения для длительности сигнала светофора главной дороги, а именно: время зелёного сигнала – 40 секунд, время красного – 15 секунд.

Одна из целей работы – сравнить две разработанные системы управления. Они сравниваются по параметрам длина пробки, среднее время нахождения транспортных средств в пробке, пропускная способность перекрёстка. Сравняются значения параметров, полученных при оптимальной работе первой системы управления и при работе второй системы управления

| Длина пробки, м | Время в пробке, с | Пропускная способность перекрёстка, маш/мин |
|-----------------|-------------------|---|
| 31,58           | 31,98             | 85  |

Таблица 8. Параметры, полученные в первой модели.

| Длина пробки, м | Время в пробке, с | Пропускная способность перекрёстка, маш/мин |
|-----------------|-------------------|---|
| 14,11           | 6,33              | 97  |

Таблица 9. Параметры, полученные во второй модели.

По таблицам 8 и 9 видно, что вторая система управления эффективнее по нескольким причинам:

1) Средняя длина пробки, полученной при прогоне второй модели, значительно меньше средней длины пробки, полученной при прогоне второй модели.

2) При адаптивной системе управления машина находится в пробке меньше времени, чем при системе управления с фиксированным временем переключения.

3) Пропускная способность перекрёстка при адаптивной системе выше, за минуту с него успевает уехать на 12 машин больше, чем при системе управления с фиксированным временем переключения.

Заключительным этапом работы над стало сравнение реальной дорожно-транспортной ситуации на дорогах и дорожно-транспортной ситуации, получаемой при работе модели с адаптивной системой управления. На реальном перекрёстке в час пик длина пробки может достигать 60 метров, в разработанной модели максимальная длина пробки равна

## **6. Выводы.**

В ходе работы над проектом было разработано две модели перекрёстка: модель перекрёстка, у которой система управления системой светофоров имеет фиксированное время переключения сигнала светофора и модель перекрёстка, у которой система управления системой светофоров подстраивается под пробки. Модели были разработаны с целью выяснить, какая система управления эффективнее, а также выяснить, будет ли лучшая из этих СУ облегчать дорожно-транспортную ситуацию на главной дороге, а именно уменьшать длину пробки.

В ходе ряда экспериментов, проведённых над данными моделями, было доказано, что адаптивная система управления эффективнее системы управления с фиксированным временем переключения сигнала, а также было установлено, что при применении адаптивной системы управления длина пробки сокращается.

## **7.Список использованных источников.**

- 1) Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. - М.: «Анвик», 1998 — 427 с., ил. 136.
- 2) <http://ru.wikipedia.org>