

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование и исследование транспортных потоков с помощью клеточных автоматов УДК 681.51:656.11.05:519.713

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Котюбеев Роман Радиевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР ТПУ	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР ТПУ	Суханов Алексей Викторович	к.х.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП ТПУ	Немцова Ольга Александровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доцент		
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	применять глубокие естественнонаучные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем.
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P7	применять глубокие естественнонаучные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.
<b>Универсальные компетенции</b>	
P8	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду
P11	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника  
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
8E51	Котюбееву Роману Радиевичу

Тема работы:

Моделирование и исследование транспортных потоков с помощью клеточных автоматов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p>	<p>Объектом исследования является адаптивный алгоритм управления светофором.</p> <p>Требования к предъявляемой разработке:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Модель транспортных потоков должна описывать двухстороннее движение, содержать перекресток и регулируемый светофор;</li> <li>2. К модели транспортных потоков может быть применен как классический, так и адаптивный режим работы светофора;</li> <li>3. Разрабатываемый адаптивный алгоритм управления режимом работы светофора должен затрачивать время, необходимое для разгрузки перекрестка, на 15 % меньшее, чем классический.</li> </ol>
--	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Провести обзор литературы; 2. Выбрать язык программирования и среду разработки для реализации модели транспортных потоков; 3. Разработать адаптивный алгоритм управления светофором; 4. Провести оценку адаптивного алгоритма управления светофором в сравнении с классическим.
<b>Перечень графического материала</b>	

### **Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

(с указанием разделов)

<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, и ресурсосбережение	Фадеева Вера Николаевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна
Нормоконтроль	Суханов Алексей Викторович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Все разделы должны быть написаны на русском языке.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

### **Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доцент		

### **Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8E51	Котюбеев Роман Радиевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника  
Уровень образования Бакалавриат  
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники  
Период выполнения (весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Спроектировать программное решение для построения модели транспортного потока	25
	Спроектировать и реализовать алгоритм адаптивного управления режимом работы светофора;	25
	Оценить изменения загруженности дорожной сети модели при использовании алгоритм адаптивного управления.	25
	Финансовая менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доцент		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Е51	Котюбееву Роману Радиевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОИТ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад студента – 1906 руб., Оклад руководителя – 33664 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премимальный коэффициент руководителя 30 %; Коэффициент доплат и надбавок руководителя 20 %; Районный коэффициент 30 %; Коэффициент дополнительной заработной платы 12 %; Накладные расходы 16 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: – определение структуры работ, – определение трудоемкости работ, – создание диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на разработку: – материальные затраты, – заработная плата (основная и дополнительная), – социальные отчисления, – накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки	Определение эффективности разработки.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT, 2. Диаграмма Ганта, 3. Расчет бюджета затрат.
--

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Фадеева В.Н.	к.ф.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Е51	Котюбеев Р.Р.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8E51	Котюбееву Роману Радиевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объектом исследования является адаптивный алгоритм управления, реализуемый с помощью клеточных автоматов. Работа осуществляется с использованием персонального компьютера.</p> <p>Разработанный алгоритм может использоваться в сфере инфраструктуры.</p>
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<p>Перечень нормативов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс РФ,</li> <li>- Специальные правовые нормы трудового законодательства при работе с компьютером и орг. техникой,</li> <li>- Требования к организации рабочих мест пользователей,</li> <li>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»,</li> <li>- СанПиН 2.2.4.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».</li> </ul>
2. Производственная безопасность	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>- отклонение параметров микроклимата</li> <li>- превышение уровня шума</li> <li>- психофизические факторы</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- электрический ток</li> <li>- короткое замыкание</li> <li>- статическое электричество</li> </ul>
3. Экологическая безопасность	Воздействие объекта на атмосферу, гидросферу отсутствует. Воздействие на литосферу происходит при утилизации ПК, используемого для разработки, а также утилизации ламп освещения
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Возможной чрезвычайной ситуацией при разработке программы является возникновение пожара на рабочем месте

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.	-		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E51	Котюбеев Р.Р.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 70 с., содержит 15 рис., 21 табл., 27 источников, 2 прил.

Ключевые слова: АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРОМ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ, КЛЕТОЧНЫЙ АВТОМАТ, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ.

Объектом исследования является адаптивный алгоритм управления светофором.

Цель работы – разработка модели транспортных потоков, а именно перекрестка с двусторонним движением, и применение адаптивного алгоритма управления светофором к данной модели, увеличивающего пропускную способность перекрестка.

В процессе исследования проводилось построение модели перекрестка на основе клеточного автомата. Был предложен адаптивный алгоритм управления светофором и подобраны его оптимальные параметры. Оценивалась эффективность классического и адаптивного алгоритмов управления светофором с разными количествами автомобилей. В качестве численной оценки для сравнения были использованы время, необходимое, чтобы полностью разгрузить перекресток, и время простоя автомобилей.

Для построения модели был использован объектно-ориентированный язык программирования высокого уровня Java и среда разработки Processing 3 IDE.

Область применения: «умная» дорога, создание современной городской инфраструктуры.

Внедрение разработанного алгоритма способно увеличить пропускную способность светофора и снизить нагрузку на окружающую среду.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	11
1 Анализ предметной области .....	13
1.1 Обзор аналогов .....	14
2 Теория клеточных автоматов.....	17
2.1 Использование клеточных автоматов для моделирование транспортных потоков.....	18
3 Модель транспортных потоков на основе клеточных автоматов.....	20
3.1 Создание матриц состояний .....	20
3.2 Алгоритм нахождения расстояния до ближайшего препятствия .....	22
3.3 Алгоритм движения машины .....	22
3.4 Классический алгоритм режим работы светофора.....	23
3.5 Алгоритм адаптивного управления режимом работы светофора.....	25
3.5.1 Описание алгоритма.....	25
3.5.2 Поиск оптимальных параметров .....	27
4 Экспериментальные результаты моделирования .....	31
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	33
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	33
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	33
5.1.2 SWOT-анализ.....	33
5.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	36
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	36
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	37
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	38
5.2.4 Бюджет научно-технической разработки.....	42
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки .....	46
5.4 Заключение по разделу .....	47
6 Социальная ответственность .....	48

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	48
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	49
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	49
6.2 Производственная безопасность .....	51
6.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	52
6.2.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения .....	52
6.2.3 Превышение уровня шума .....	53
6.2.4 Отклонение параметров микроклимата .....	53
6.2.5 Статическое электричество .....	54
6.2.6 Электрический ток .....	55
6.2.7 Психофизиологические факторы .....	57
6.3 Экологическая безопасность .....	57
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	58
6.5 Заключение по разделу .....	59
Заключение .....	61
Список используемых источников.....	62
Приложение А Схемы заполнения матриц .....	66
Приложение Б Классический и адаптивный алгоритмы работы светофора...	69

## ВВЕДЕНИЕ

По данным Росстата и некоторых иностранных компаний, парк автомобильного транспорта с каждым годом увеличивается, что приводит к увеличению загруженности дорог и, соответственно, к пробкам [1,2,3]. Проблема пробок скрывается не только в увеличении количества машин, но и самих водителей. Решением указанных проблем может являться цифровизация управления транспортной инфраструктурой, поэтому многие компании пытаются создать интеллектуальные машины и дороги. В условиях поддержки государством [4] подобных разработок, проектирование и разработка «умных» дорог является перспективным направлением.

На данный момент времени задача заполнения дороги беспилотными автомобилями является трудновыполнимой. Поэтому возможно управлять транспортными потоками с помощью регулируемого светофора, который будет направлять их в нужном направлении, исходя из загруженности магистралей. Экспериментировать с реальным светофором считается невозможным, более того трудоемким будет способ анализа данных. Для решения подобной проблемы может применяться моделирование.

Целью работы является разработка алгоритма адаптивного управления режимом работы светофора с помощью модели на основе клеточных автоматов.

Объектом исследования является модель транспортных потоков.

Предметом исследования является адаптивный алгоритм управления светофором.

В разделе 1 приведен анализ предметной области. Рассмотрены аналоги, приведена актуальность работы, рассмотрены методы моделирования транспортных потоков.

В разделе 2 рассмотрена теория клеточных автоматов, в частности применение клеточных автоматов к задачам моделирования транспортных потоков.

В разделе 3 описаны этапы разработки модели, приведены и описаны классический и разрабатываемый адаптивный алгоритмы управления

светофором, а также исследованы влияния параметров адаптивного алгоритма на время простоя автомобиля и время разгрузки перекрестка.

В разделе 4 приведены экспериментальные результаты эффективности адаптивного алгоритма на основании найденных оптимальных значений параметров.

В разделе 5 выполнен модуль по финансовому менеджменту, оценен коммерческий потенциал разработки на основании SWOT-анализа, рассчитано планирование научно-исследовательских работ, определена конкурентоспособность по сравнению с аналогами.

В разделе 6 выполнен модуль по социальной ответственности.

В качестве инструментов для разработки в работе были использованы язык программирования Java, библиотека processing для визуализации модели, среда разработки Processing 3 IDE.

Практическая ценность разработанного алгоритма состоит в уменьшении затрачиваемого автомобилистом времени на перекрестке, увеличении пропускной способности светофора, уменьшении влияния выхлопных газов на окружающую среду.

Научную новизну составляет предложенный адаптивный алгоритм.

## **1 Анализ предметной области**

По данным Росстата парк автомобильного транспорта с каждым годом увеличивается, например, в 2005 составил 31210000 автомобилей на конец года, а в 2017 уже 54217000 [1]. Можно утверждать, что и загруженность дорог с ростом количества машин также увеличилась. Согласно данным американской компании INRIX, ведущей статистику пробок в разных городах мира, Москва является самым перегруженным районом мира за 2018 год [2]. Более того водитель в Москве тратит 210 часов в пробке, в Санкт-Петербурге – 200, а в Нижнем Новгороде – 180 по тем же данным INRIX. Публикует данные о пробках также нидерландская компания TomTom, так, по ее данным, уровень загруженности транспортных потоков в Москве составляет 44 %, в Санкт-Петербурге – 41 %, в Новосибирске – 35 %, а в нижнем Новгороде – 32 % [3], где под уровнем загруженности подразумевается увеличение пробок по сравнению со свободными дорогами в тех же местах. На первых местах размещается Мексика с уровнем 66 %, Бангкок с 61 % и Джакарта с 58 %.

Проблема пробок скрывается не только в увеличении количества машин, но и самих водителей. Решением проблемы человеческого фактора могут являться беспилотные автомобили. Многие крупные компании пытаются создать интеллектуальные машины и дороги. В России, например, проходил международный форум «Интеллектуальные транспортные системы России, 2018», где Владимир Юрьевич Струкалев, вице-президент Ассоциации «Цифровая Эра Транспорта» подчеркнул: «Настало время реализации концептуального подхода к развитию ИТС (интеллектуальных транспортных систем), разработке обеспечивающих нормативно-правовых актов и требований, выработке механизмов и моделей межсистемной интеграции и взаимодействия, а также оптимальных моделей ИТС. Исходя из всего этого идеальная модель – попытка сформировать ответ на вопрос методологического обеспечения развития ИТС» [4]. Поэтому, в условиях поддержки государством подобных разработок, разработка и проектирование «умных» дорог является перспективным направлением.

На данный момент времени задача заполнения дороги беспилотными автомобилями является трудновыполнимой. Поэтому возможно управлять транспортными потоками с помощью регулируемого светофора, который будет направлять их в нужном направлении, исходя из загруженности магистралей.

Далее в разделе будет приведен обзор аналогов в области «умных» светофоров.

### **1.1 Обзор аналогов**

На рынке уже имеются системы, контролирующие транспортные потоки в режиме реального времени. К таким разработкам относятся:

- Scalable Urban Traffic Control (Surtrac);
- Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS);
- Autonomous Distributed Signal Control (ARTEMIS).

Система Surtrac, разработанная в университете Карнеги-Меллона, представляет собой совокупность контроллера, камеры видеонаблюдения и искусственного интеллекта. Принятие решений в Surtrac происходит децентрализованно. Децентрализованное управление отдельными перекрестками позволяет лучше реагировать на местные условия движения в реальном времени. Это также уменьшает затраты на вычислительные ресурсы и позволяет избежать отказа работы всей сети. Технология реализуется следующим образом: на основе данных с камер видеонаблюдения система Surtrac составляет дальнейший план переключения светофоров таким образом, чтобы сделать проезд через перекресток наиболее эффективным. Согласно этому плану Surtrac посылает команды контроллеру управления светофором [5].

Австралийская разработка SCATS в условиях реального времени управляет длительностью фазы сигнала светофора или сетью светофоров на основе адаптивных алгоритмов. Технология SCATS основана на автоматическом выборе плана из библиотеки, хранящая данные о наличии автомобилей и пешеходов. В качестве датчиков для обнаружения автомобилей используются индуктивные преобразователи, а для обнаружения пешеходов –

кнопка оповещения пешеходов [6]. Архитектура SCATS имеет два уровня: LOCAL и MASTER. LOCAL – это пункт управления, устанавливаемый возле дороги, обеспечивающий сигнал управления и обработку информации, которую получают из датчиков. MASTER – это станция управления, ответственное за управление подконтрольными зонами LOCAL. Таким образом, MASTER получает информацию из LOCAL, включая о неполадках оборудования или сбоях работы. Передача сигналов может осуществляться через PAPL, ADSL, PSTN и 3G IP технологии. Система SCATS внедрена в 40 странах.

Японская компания Kyosan разработала интеллектуальную транспортную систему ARTEMIS, которая состоит из камер видеонаблюдения, ультразвуковых датчиков, контроллера, центра управления. ARTEMIS состоит из следующих трех функций: прогнозирование пребывающего транспортного потока путем обмена информацией между перекрестками, расчет параметра сигнала управления на основе оценённой транспортной ситуации, оптимизация за счет оценки времени простоя автомобилистов. Данные с датчиков и камер о наличии автомобилей и их скорости передаются в центр управления через VPN роутер, где принимаются решения о режиме работы светофоров на основе адаптивных алгоритмов. Таким образом, образуется целая сеть перекрестков, управляющая транспортными потоками [7]. Система ARTEMIS была внедрена в России в городе Воронеж [8] в 2017 году. Благодаря этой системе пропускная способность на перекрестке увеличилась на 30%. Более того компания Kyosan планирует и дальнейшее внедрение своей технологии в России [9].

В условиях импортозамещения, заявленного властями, особенно актуальным становится вопрос о разработке отечественных аналогов заявленным системам. К тому же в последнее время становится трудным предугадать, каким зарубежным компаниям закроется вход на российский рынок, поэтому собственные разработки придутся необходимыми для введения в транспортную инфраструктуру. Это также становится значимым, когда в России еще не реализованы отечественные разработки.

Современный этап развития компьютерного моделирования сложных систем сопровождается все увеличивающимися возможностями аппаратных и программных средств вычислительной техники, что позволяет реализовывать алгоритмы, требующие больших вычислительных мощностей.

К таким алгоритмам относятся и алгоритмы на основе теории клеточных автоматов, позволяющие моделировать технические, социальные, экономические, биологические и другие объекты.

Исследователи изучают закономерности транспортного движения потоков автомобилей и создали классификацию, состоящую из трех классов моделей [10]:

- макромоделли (аналогия с динамикой жидкости, газа);
- мезомодели (модели распределения вероятностей, распределении временных интервалов);
- микромоделли (следование за лидером, клеточные автоматы).

Экспериментировать с реальным светофором считается невозможным, более того трудоемким будет способ анализа данных. Для решение подобной проблемы может применяться моделирование, в частности с использованием клеточных автоматов.



## 2 Теория клеточных автоматов

История появления клеточных автоматов восходит к работам ученых Конрада Цусе, Джона фон Неймана [11, 12]. Клеточный автомат (КА) может быть определен как дискретная динамическая система. Поведение этой системы определяется в терминах локальных зависимостей (в динамических непрерывных системах поведение определяется уравнениями частных производных). Клеточные автоматы имеют в некотором смысле аналог физического понятия «поля» [13].

КА может быть представлен как сетка (массив, таблица, матрица) ячеек произвольного размера. С течением времени состояние сетки обновляется, причем состояние каждой клетки в следующий момент времени зависит от состояния ближайших ее соседей, а также в некоторых случаях от своего собственного состояния на текущей итерации.

Свойства классического клеточного автомата:

1. Локальность правил. На новое состояние клетки могут повлиять только элементы её окрестности и, возможно, она сама;
2. Конечность множества возможных состояний клетки. Для получения нового состояния клетки требуется конечное число операций;
3. Однородность системы. Ни одна область сетки не может отличаться от другой по каким-либо особенностям правил;
4. Одновременный переход в новое состояние для всех клеток – значения во всех клетках меняются единовременно, в конце итерации, а не по мере вычисления. В противном случае порядок перебора клеток решетки оказывал бы существенное влияние на результат.

КА нашли применение в разных областях науки. Некоторые живые организмы проявляют свойства КА: окраска чешуек ящериц, раскраска раковин, морских моллюсков (рисунок 1) [14]. Растения регулируют приток и отток газообразных веществ посредством механизма, который может быть промоделирован с помощью КА. Каждое устье на поверхности листа функционирует подобно ячейке КА [15]. Сверточные нейронные сети могут

быть представлены как КА [16]. Особое применение КА нашли в моделировании экосистем и популяционной динамике [17]. Они используются для прогнозирования лесных пожаров [18]. КА могут применены даже в криптографии в качестве возможного блочного шифра (для генерации случайных чисел) [19].



Рисунок 1 – Узор на поверхности раковины Conus textile

## 2.1 Использование клеточных автоматов для моделирование транспортных потоков

Моделированию транспортных потоков с помощью клеточных автоматов посвящено множество публикаций.

Первые КА для моделирования дорог использовались в работах Нагеля и Шрекенберга. В [20] рассматривалась одна дорожная линия (машины перемещались в одну сторону). В модели Нагеля-Шрекенберга (НШ) дорога разделяется на  $L$  клеток. Длина каждой клетки составляет 7.5 м, причем каждая клетка может содержать автомобиль или оставаться пустой.  $x_i(t)$ ,  $v_i(t)$  обозначают положение и скорость  $i$ -го автомобиля во времени  $t$ , соответственно. Скорость принимает целочисленное значение, варьирующееся от 0 до  $v_{max}$ , где  $v_{max}$  – максимальная скорость автомобиля.  $d_i(t)$  обозначает расстояние между  $i$  и  $i+1$  автомобилем. Данная модель состоит из 4 правил:

1. Ускорение. Если  $v_i < v_{max}$ , то скорость  $i$ -го автомобиля увеличивается на единицу; если  $v_i = v_{max}$ , то скорость не изменяется:

$$v_i(t + 1) = \min(v_i(t) + 1, v_{max}) \quad (2.1)$$

2. Торможение – если перед  $i$ -ым автомобилем находится препятствие, то скорость приравнивается к расстоянию до препятствия:

$$v_i(t + 1) = \min(v_i(t) + 1, d_i(t)) \quad (2.2)$$

3. Случайные возмущения – существует вероятность  $p$ , при которой скорость автомобиля уменьшается на единицу:

$$\text{if } e(t) < p \text{ then } v_i(t + 1) = \max(v_i(t + 1) - 1, 0) \quad (2.3)$$

4. Движение автомобилей – изменение положения автомобиля на поле КА в соответствии со вновь вычисленной скоростью:

$$x_i(t + 1) = v_i(t + 1) + x_i(t) \quad (2.4)$$

Несмотря на уже долгий период времени со дня публикации этой работы, многие исследователи берут за основу модель НШ и пытаются ее улучшить. Так, например, в [21] китайские исследователи проанализировали 3-е правило НШ-модели и пришли к выводу, что вероятность  $p$  не должна быть постоянной, а зависеть от текущей скорости и дистанции до следующей машины. Это объясняется, тем, что если следующая машина находится далеко, то вероятность того, что водитель сбросит свою скорость мала. В [22] авторы дополняют НШ-модель правилами, позволяющими машинам переходить с одной линии на другую. Статья [23] добавляет правила не только перехода машин с линии на линию, но и правила обгона машин.

Однако большинство работ, посвященных моделированию транспортных потоков с помощью клеточных автоматов, не описывают в своих моделях перекрестки. В данной же работе будет реализована модель с двумя полосами и регулируемым перекрестком.

### 3 Модель транспортных потоков на основе клеточных автоматов

В данном разделе будет описана модель транспортных потоков с одним регулируемым перекрестком и симметричным двухполосным движением. Как было указано в разделе 2 использование клеточных автоматов подразумевает наличие матрицы (массива) состояний. Изменение состояний происходит одновременно. Для моделирования перекрестка и движения автомобилей были также введены дополнительные матрицы направлений и разрешимых перемещений.

#### 3.1 Создание матриц состояний

Определим, где на матрице состояний находится машины, дорога, светофор и не являющиеся частью дорожной сети пространства, которые назовем «Стена». Рисунок 2 (а) показывает сетку состояний ячеек. Соответствующие состояния: стены (wall), дороги (road), машины (car), светофор (traffic light).

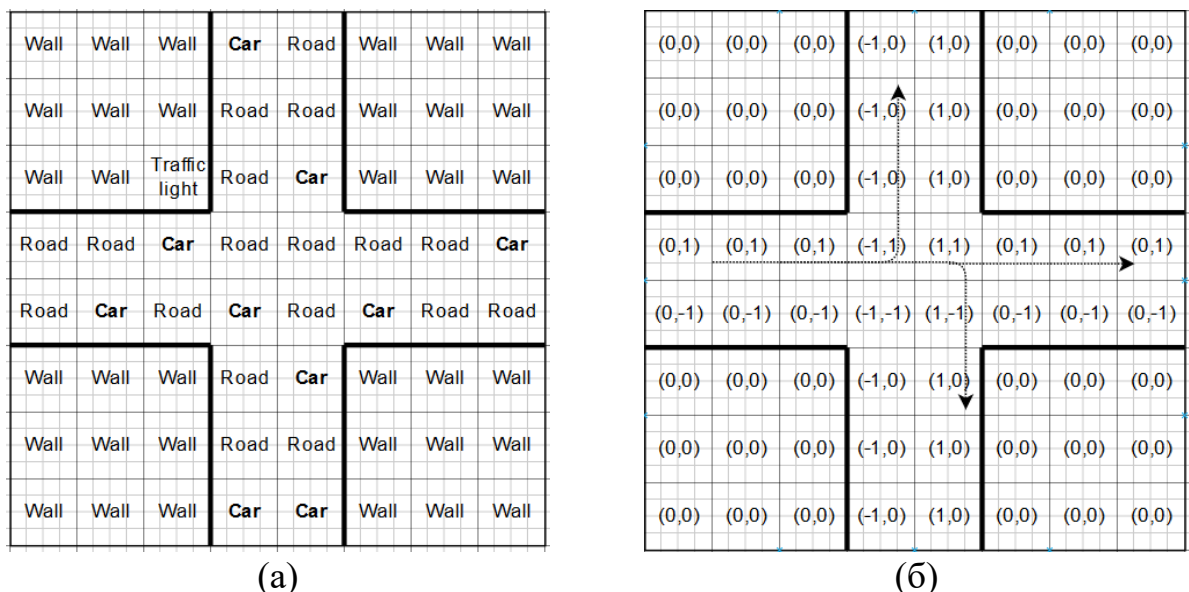


Рисунок 2 – Матрица состояний ячейки (а), матрица направлений ячейки (б)

Определим, матрицу направлений (рисунок 2 (б)). Матрица направлений показывает в какую сторону будет перемещаться машина. Первое число массива – перемещение по вертикальной составляющей, второе число массива – перемещение по горизонтальной. Так, положительное значение в

горизонтальной составляющей означает движение вправо, а положительное значение в вертикальной составляющей означает движение вниз, отрицательные значения соответствуют противоположным направлениям.

Матрицу разрешимых перемещений описывает допустимые в данный момент перемещения, зависящие от состояния светофора (см. рисунок 3). Так, если горит «зеленый», возможно только перемещение по горизонтальной составляющей (0,1), в случае «красного» – перемещение доступно только по вертикальной составляющей (1,0), «желтый» устанавливает все составляющие массива разрешимых перемещений внутри перекрестка нулевыми (0,0), то есть передвигаться внутри перекрестка запрещено.

(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	Green	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	Red	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(1,0)	(1,0)	(0,1)	(0,1)	(0,1)
(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(1,0)	(1,0)	(0,1)	(0,1)	(0,1)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)

(а)

(б)

Рисунок 3 – Матрица разрешимых перемещений для зеленого (а), для красного (б) режимов работы светофора

Определим матрицу скоростей автомобилей. На рисунке 4 тем ячейкам, содержащим машину, присвоим скорости, зависящих от направления движения. Скорость здесь соответствует количеству клеток, на которое может переместиться машина по вертикальной и горизонтальной составляющим. В тех ячейках, где нет машин, скорости отсутствуют. Соответствующие алгоритмы инициализации и заполнения матриц приведены в приложении А.

(0,0)	(0,0)	(0,0)	<b>(-3,0)</b>	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	<b>(0,0)</b>	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	<b>(0,2)</b>	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	<b>(0,2)</b>
(0,0)	<b>(0,-3)</b>	(0,0)	<b>(0,-2)</b>	(0,0)	<b>(0,-2)</b>	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	<b>(0,0)</b>	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	<b>(-2,0)</b>	<b>(3,0)</b>	(0,0)	(0,0)	(0,0)

Рисунок 4 – Матрица скоростей

### 3.2 Алгоритм нахождения расстояния до ближайшего препятствия

Препятствием считается автомобиль в направлении движения, участок перекрестка, в случае если движение по данной линии запрещено, и ячейки типа WALL.

Препятствия ищутся путем просмотра ячеек, расположенных вдоль направления движения.

Перекресток является препятствием тогда, когда матрица разрешимых перемещений вдоль одного своего направления принимает нулевое значение. Так для горизонтальной составляющей это (1,0) или (0,0), для вертикальной – (0,1) или (0,0). Таким образом, перекресток в этих случаях становится препятствием.

Количество клеток ограничено, массив не хранит бесконечное число ячеек. Поэтому в случае отсутствия препятствия дистанция считается бесконечной и равна максимально возможному целому значению типа Integer. В этом случае автомобиль ускоряется до максимально заданной скорости.

### 3.3 Алгоритм движения машины

За основу движения автомобилей взяты правила модели Нагеля-Шрекенберга (см. раздел 2). Согласно этим правилам автомобили

перемещаются внутри матрицы состояний. Автомобили движутся за счет изменения значений координат в матрице состояний. К координатам матрицы состояний, содержащим автомобили, добавляется скорость. Скорость определяется из правил Нагеля-Шрекенберга: автомобиль ускоряется (его скорость возрастает на единицу) до максимально заданного значения, если в направлении движения отсутствует препятствие; автомобиль тормозит (скорость приравнивается к расстоянию до препятствия), если его текущая скорость больше, чем расстояние до следующего препятствия. В правилах Нагеля-Шрекенберга также имеется случай стохастического торможения: скорость автомобиля уменьшается на единицу с какой-то вероятностью, однако автор данной работы не считает нужным наличие последнего правила о случайных возмущениях, так как расстояние от перекрестка до перекрестка в случаях реального города не является достаточно большим, чтобы водитель постоянно притормаживал.

Таким образом происходит перемещение автомобиля внутри матрицы состояний. Новая матрица состояний записывается в другую матрицу состояний, чтобы обеспечить одновременность перехода, а также не удалять вручную предыдущие состояния.

### **3.4 Классический алгоритм режим работы светофора**

В данном разделе классический алгоритм режим работы светофора, в котором. переключение состояния светофора осуществляется через постоянные промежутки времени.

Светофор имеет 4 состояния: RED (красный), RED\_TO\_GREEN (красный\_на\_зеленый), GREEN (зеленый), GREEN\_TO\_RED (зеленый\_на\_красный). На красный разрешается ехать только по вертикальной составляющей, на зеленый – только по горизонтальной составляющей. GREEN\_TO\_RED и RED\_TO\_GREEN соответствуют желтому цвету светофора и необходимы для переключения с красного на зеленый или с зеленого на красный соответственно. Состояния включаются в указанном здесь порядке.

В качестве времени выступает переменная целочисленного типа `numberOfIterations`, которая содержит количество итераций. Под итерацией понимается каждое обновление матрицы состояний. Каждый раз, когда матрица состояний обновится, к переменной `numberOfIterations` добавляется единица (инкремент).

Переменные `time_green_red` и `time_yellow` необходимы для отсчета периода работы красного и зеленого и периода работы желтого светофора.

Так, если состояние светофора RED, то значения матрицы разрешимых перемещений равны (0,1) внутри перекрестка. В тот момент, когда `numberOfIterations` становится больше, чем период работы красного светофора `time_green_red`, то светофор должен переключиться в состояние RED\_TO\_GREEN. Значение переменной `numberOfIterations` обнуляется, в этом состоянии значения матрицы разрешимых перемещений внутри перекрестка становятся равны (0,0). Время, в котором светофор находится в данном состоянии, определяется значением `time_yellow`.

Как только `numberOfIterations` превысит значение `time_yellow`, значение `numberOfIterations` обнулится, светофор перейдет в состояние GREEN. В этом состоянии значения матрицы разрешимых перемещений равны (1,0) внутри перекрестка. В тот момент, когда значение `numberOfIterations` превысит `time_green_red` (период работы зеленого светофора), светофор перейдет в состояние GREEN\_TO\_RED. Значение переменной `numberOfIterations` обнуляется, в этом состоянии значения матрицы разрешимых перемещений внутри перекрестка становятся равны (0,0). Время, в котором светофор находится в данном состоянии, определяется значением `time_yellow`. После светофор переходит в состояние RED и т.д. Классический алгоритм переключения состояний светофора представлен в приложении Б (рисунок Б.1).

Для большей наглядности на рисунке 5 представлена схема переходов между состояниями.



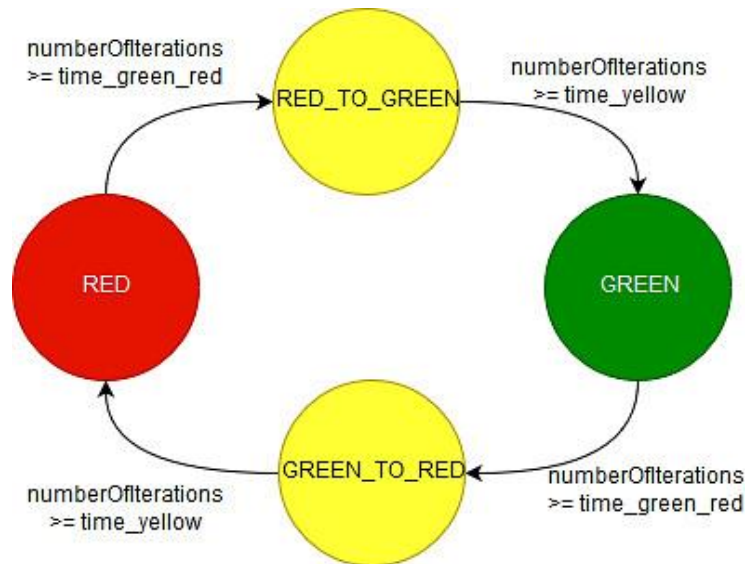


Рисунок 5 – Схема переключения светофора (1)

### 3.5 Алгоритм адаптивного управления режимом работы светофора

В разделе 3.4 был рассмотрен классический режим работы светофора. В данном разделе предложен адаптивный алгоритм управления режимом работы светофором, зависящий от двух параметров.

#### 3.5.1 Описание алгоритма

Предложенный алгоритм учитывает количество автомобилей, движущихся в направлении перекрестка, и дистанцию каждого из них до перекрестка. Схема алгоритма представлена в приложении Б (рисунок Б.2). Этапы работы алгоритма представлены ниже.

1. На каждой итерации работы клеточного автомата для вертикального и горизонтального направлений вычисляются значения следующих функции

$$f_V(t) = \sum_i \left( \frac{1}{distance_{V_{0i}}(t)} \right)^p + \sum_i \left( \frac{1}{distance_{V_{1i}}(t)} \right)^p, \quad (3.1)$$

$$f_H(t) = \sum_i \left( \frac{1}{distance_{H_{0i}}(t)} \right)^p + \sum_i \left( \frac{1}{distance_{H_{1i}}(t)} \right)^p, \quad (3.2)$$

где  $distance_{V_0i}(t)$  – это расстояние до перекрестка для 1-й полосы дороги для  $i$ -го автомобиля, движущихся в направлении перекрестка по вертикальной составляющей;

$distance_{V_1i}(t)$  – это расстояние до перекрестка для 2-й полосы дороги для  $i$ -го автомобиля, движущихся в направлении перекрестка по вертикальной составляющей;

$distance_{H_0i}(t)$  – это расстояние до перекрестка для 1-й полосы дороги для  $i$ -го автомобиля, движущихся в направлении перекрестка по горизонтальной составляющей;

$distance_{H_1i}(t)$  – это расстояние до перекрестка для 2-й полосы дороги для  $i$ -го автомобиля, движущихся в направлении перекрестка по горизонтальной составляющей;

$p > 0$  – степенной параметр.

2. На следующем этапе находится отношение функций, вычисленные на предыдущем этапе, и происходит переключение состояния светофора. Переключение зависит от текущего состояния светофора. Так,

- а) Если текущее состояние светофора – RED и  $\frac{f_H(t)}{f_V(t)} > k$ , то происходит переход в состояние RED\_TO\_GREEN, где  $k$  – инерционный параметр;
- б) Если текущее состояние светофора – GREEN и  $\frac{f_V(t)}{f_H(t)} > k$ , то происходит переход в состояние GREEN\_TO\_RED, где  $k$  – инерционный параметр;
- в) Если текущее состояние светофора – RED\_TO\_GREEN, то обработка состояний происходит так же, как представлено в разделе 3.2: после того, как numberOfIterations превысит длительность данного состояния, определяемая переменной time\_yellow, состояние светофора переключается в GREEN;

- г) Если текущее состояние светофора – GREEN\_TO\_RED, то обработка состояний происходит так же, как представлено в разделе 3.2: после того, как numberOfIterations превысит длительность данного состояния, определяемая переменной time\_yellow, состояние светофора переключается в RED.

Для большей наглядности на рисунке 6 представлена схема переходов между состояниями.

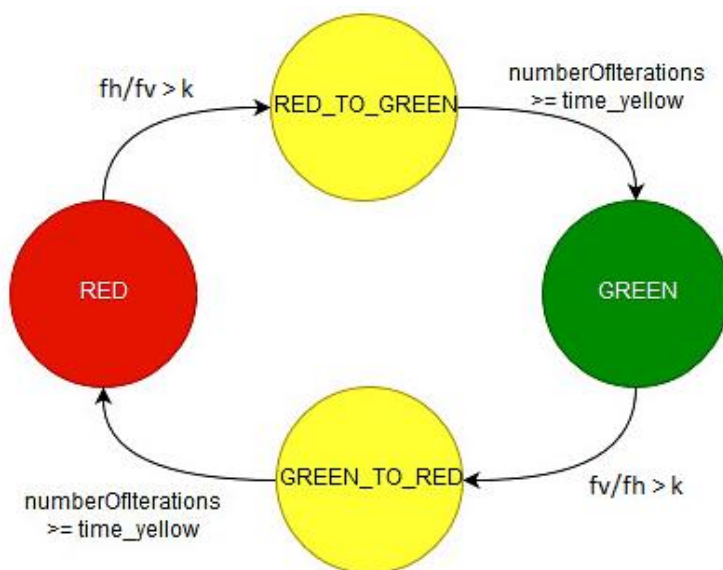


Рисунок 6 – Схема переключения светофора (2)

Предложенный алгоритм использует два свободно выбираемых параметра: степень  $p$  и коэффициент  $k$ . Их выбор влияет на время, необходимое, чтобы разгрузить перекресток, и время простоя автомобилей. Далее решена задача многокритериальной оптимизации для нахождения наиболее оптимальных значений данных параметров для соответствующего транспортного потока.

### 3.5.2 Поиск оптимальных параметров

В данном подразделе будет исследован адаптивный алгоритм нахождение его оптимальных параметров: степенного  $p$  и инерционного  $k$ .

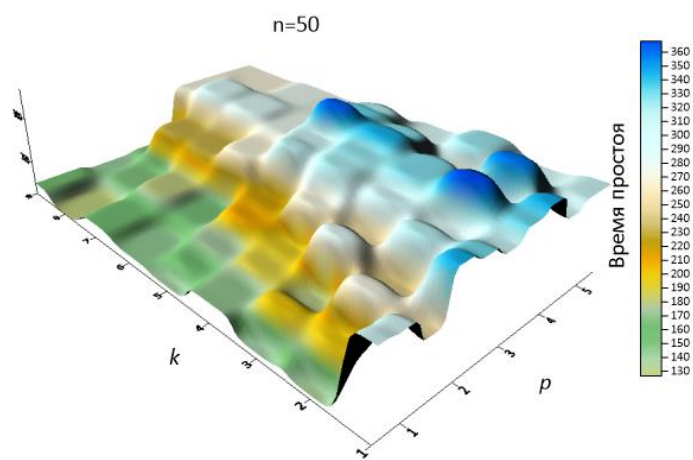
В качестве оценки эффективности параметров используются два критерия: время простоя автомобиля (время, при котором автомобиль не

двигается) и время разгрузки перекрестка (время, необходимое чтобы из зоны перекрестка выехали все автомобили). Задача оптимизации определяется как минимизация этих критериев.

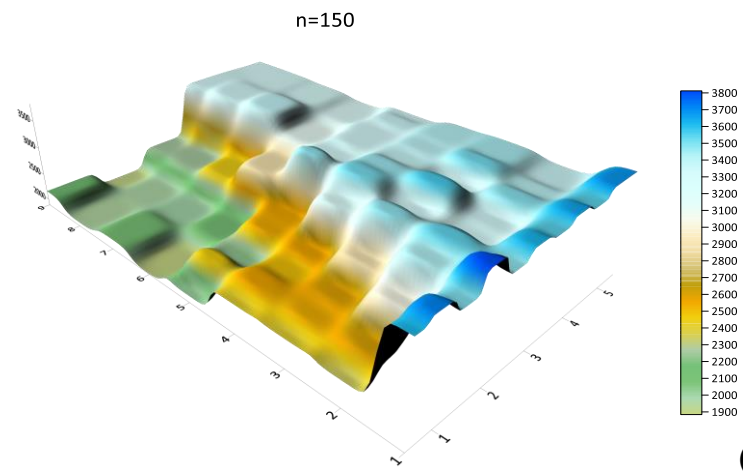
Спроектированная модель устроена так, что автомобили появляются в случайных местах дороги. Для более точного анализа проводилось 20 экспериментов для каждого количества автомобилей. В результате бралось среднее арифметическое время простоя и время разгрузки.

Для представления анализов исследования были построены графики зависимости времени простоя (рисунки 7 - 10) и времени разгрузки перекрестка (рисунки 11 - 13) от параметров  $p$  и  $k$  при количестве машин равном 50, 100, 250.

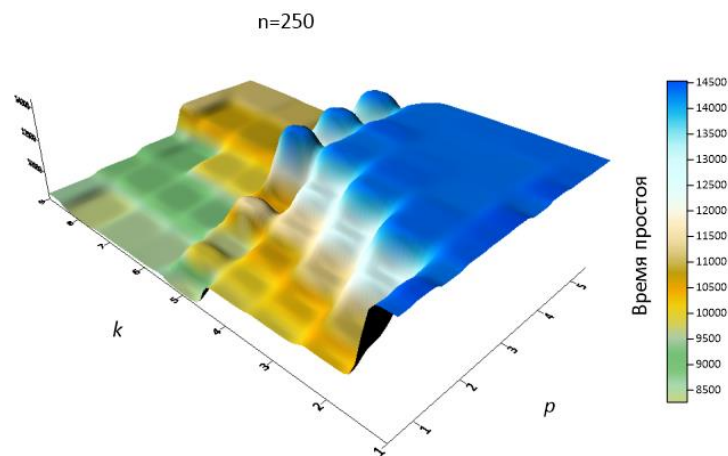
Обобщив результаты из приведенных графиков, можно увидеть зависимость: при диапазоне степенных параметров  $p < 2$  и при  $k > 5$  как время простоя, так и время разгрузки имеют наименьшие значения. Дальнейшее наблюдение за увеличением значения  $k$  не привело к улучшению результатов: время простоя и время разгрузки оставалось в целом на одном уровне.



(a)



(б)



(в)

Рисунок 7 – Трехмерные графики зависимости времени простоя от параметров при количестве машин равном (а) 50, (б) 150, (в) 250

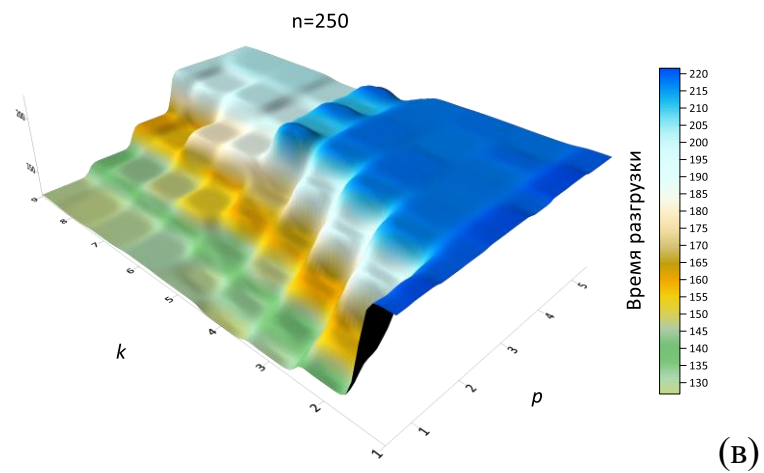
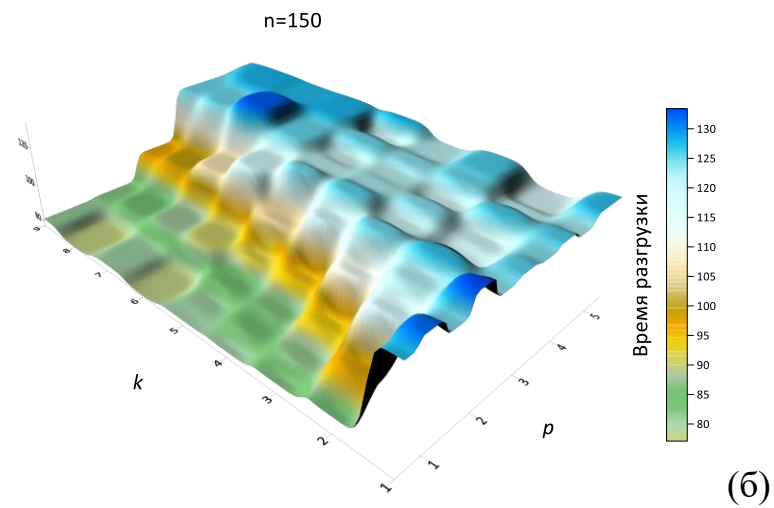
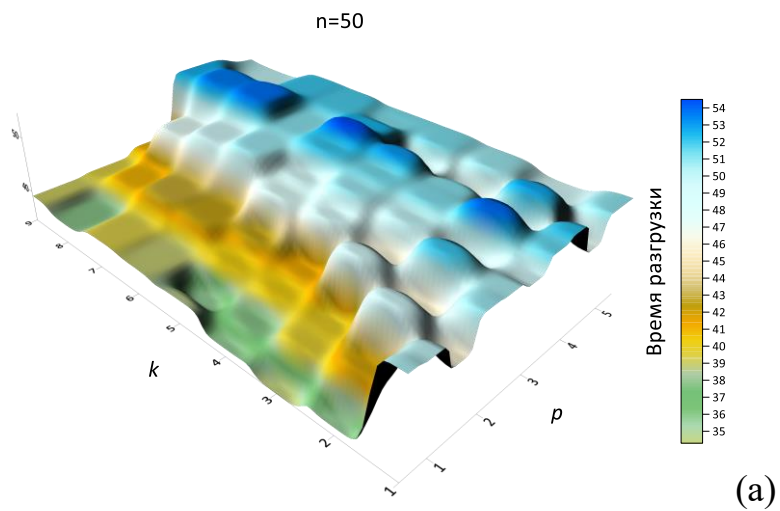


Рисунок 8 – Трехмерные графики зависимости времени разгрузки от параметров при количестве машин равном (а) 50, (б) 150, (в) 250

#### 4 Экспериментальные результаты моделирования

Разработанная модель транспортных потоков может вмещать 252 автомобиля.

Как уже было приведено в разделе 3.5.2 диапазон значений оптимальных параметров лежит в диапазонах: для степенного от 0 до 2, для инерционного больше 5.

Рисунки 9 и 10 показывают зависимости средне арифметического времени разгрузки и средне арифметического времени простоя от начального количества автомобилей с использованием адаптивного алгоритма при разных параметрах и классического алгоритма управления светофором, описанного в разделе 3.4. Исходя из этих данных можно сделать вывод о эффективности разработанного алгоритма: с увеличением роста количества автомобилей он справляется эффективнее. Так при количестве автомобилей равное 100 время разгрузки перекрестка на 30 итераций, а время простоя на 300 итераций меньше, чем это делает классический; при количестве автомобилей равное 200 время разгрузки перекрестка на 40 итераций, а время простоя на 1600 итераций меньше, чем классический. Таблица 1 показывает сравнительную характеристику, адаптивный алгоритм которого имеет параметры:  $p = 0,5$  и при  $k = 5$ .

Таблица 1 – Сравнительная характеристика алгоритмов

	Количество машин					
	50		150		250	
	Время простоя	Время разгрузки	Время простоя	Время разгрузки	Время простоя	Время разгрузки
Классический алгоритм	50,15	218,2	108,3	2819,7	12759,1	174,9
Адаптивный алгоритм	36,8	155,7	77,9	2016,9	8354,8	129,9
Разница	13,3	62,5	30,4	802,8	4404,3	45

Таким образом, была доказано эффективность разработанного адаптивного алгоритма управления транспортными потоками.

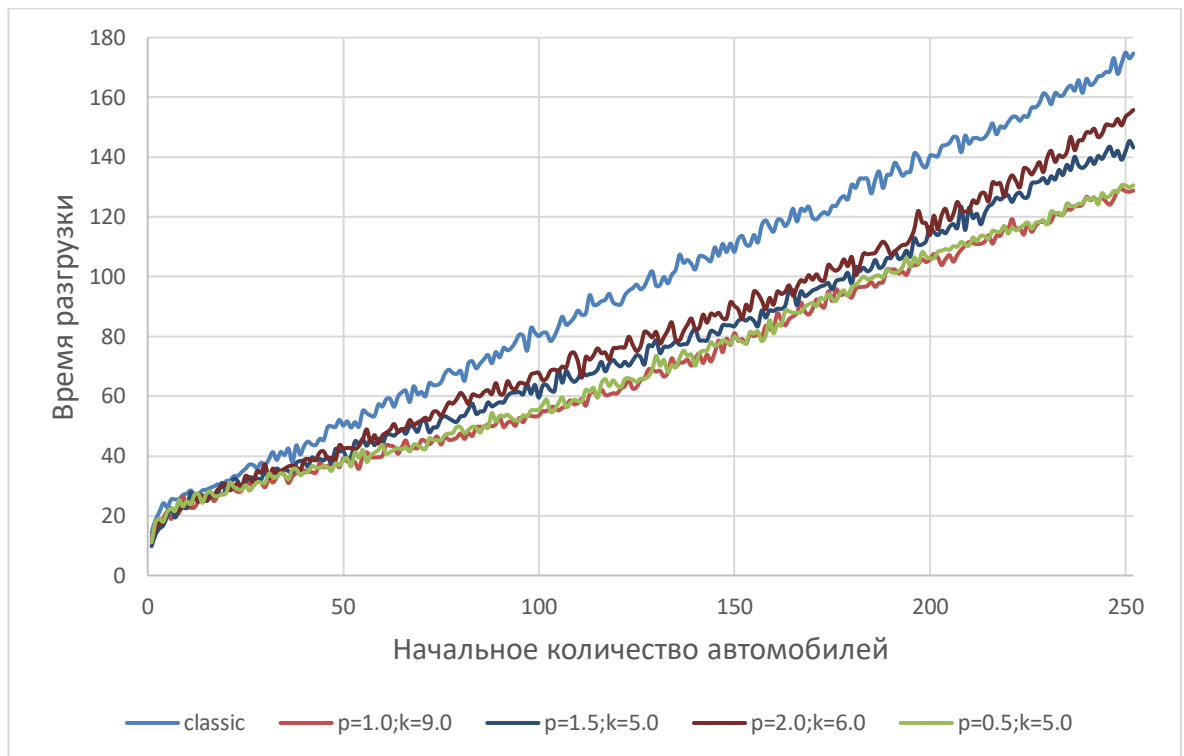


Рисунок 9 – Зависимость времени загрузки от начального количества автомобилей

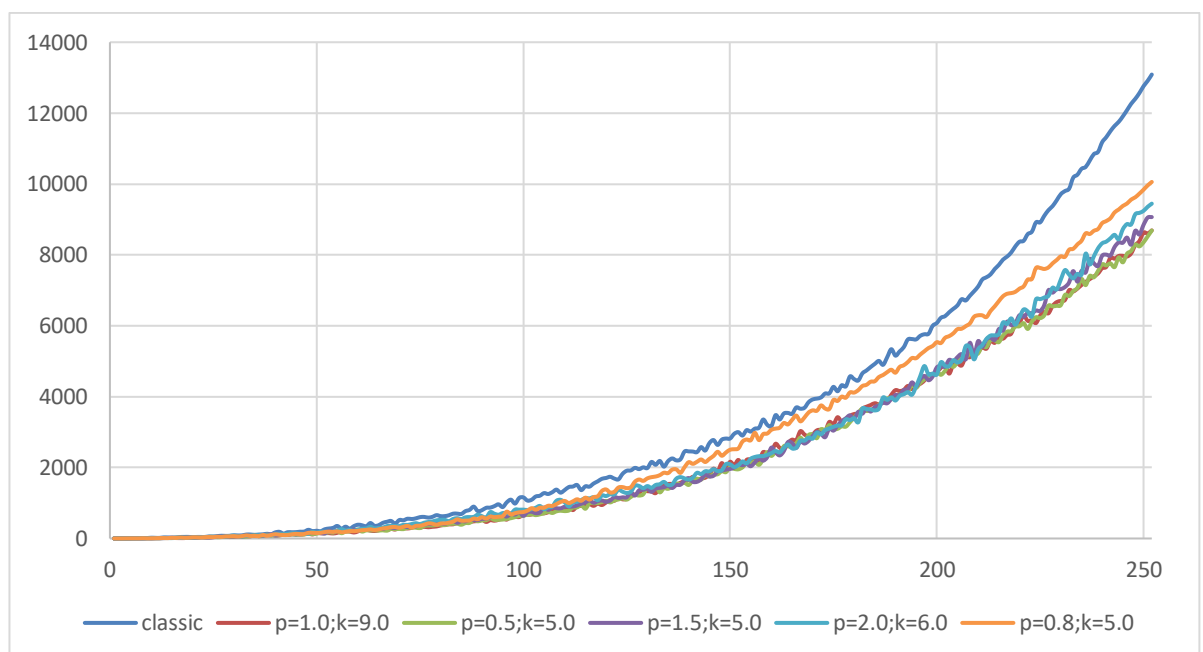


Рисунок 10 – Зависимость времени простоя от начального количества автомобилей



## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка модели транспортных потоков с одним перекрестком на основе клеточных автоматов и разработка адаптивного алгоритма управления светофором в условиях данной модели. Разработанный адаптивный алгоритм выносит свои решения на основе загруженности автомобилями той или другой линии магистрали (под линиями магистралями понимается основная дорога и перпендикулярная ей дорога). Оценка классического и адаптивного алгоритма производится с помощью спроектированной модели транспортных потоков. Таким образом, разработанный адаптивный алгоритм способен заменить классический алгоритм управления светофором и может, т.к. уменьшает общее время необходимое для разгрузки перекрестка и время простоя по сравнению с классическим

Цель данного раздела – провести детальный анализ проекта по критериям конкурентоспособности и ресурсоэффективности. Оценить перспективность проекта, определить трудоемкость и график работ, а также рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности.

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Потенциальными потребителями результатов исследования являются административные управления, т.е. те организации, отвечающие за транспортную инфраструктуру.

#### **5.1.2 SWOT-анализ**

SWOT-анализ – это метод планирования, который заключается в том, чтобы выявить факторы внутренней и внешней среды проекта, и делении их на

4-ре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). SWOT- анализ проводится в несколько этапов. Первый – описание сильных и слабых сторон проекта, а также обнаружение возможностей и угроз для реализации проекта. Первый этап проиллюстрирован в таблице 1.

Таблица 2 – 1-й этап SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны:</b> С1. Алгоритм адаптивен. т.е. имеет независимость от времени суток, а зависим от загруженности; С2. Алгоритм может быть подкорректирован в зависимости от результатов исследования; С3. Модель транспортных в целом соответствует реальным условиям; С4. Уменьшает время разгрузки перекрёстка по сравнению с жестким управлением светофора.	<b>Слабые стороны:</b> Сл1: Сложность реализации на аппаратном уровне; Сл2: Требовательность к вычислительным ресурсам Сл3: В модели отсутствует дополнительное условие в виде пешеходного перехода;
<b>Возможности:</b> В1. Возможность использования адаптивного алгоритма управления и для беспилотных автомобилей; В2. Возможность реализации нового алгоритма управления, т.к. модель транспортных потоков уже разработана		
<b>Угрозы:</b> У1. Сложность натурного проведения экспериментов; У2. Необходимость в установлении связи с администрацией в случае конечной реализации		

Второй этап – обнаружение соответствий сильных и слабых сторон разработанного проекта условиям окружающей среды. Этап нужен для выявления необходимости стратегических изменений.

Знак «+» - сильное соответствие сильных сторон возможностям, «-» - слабое соответствие, «0» - в случае сомнений.

Интерактивные матрицы приведены в таблицах 2-5.

Таблица 3 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей проекта

Сильные стороны					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	0	-
	B2	-	+	+	-

Таблица 4 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей проекта

Слабые стороны				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	0	+	0
	B2	+	+	-

Таблица 5 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз

Сильные стороны					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	-	-
	У2	+	+	+	+

Таблица 6 – Интерактивная матрица слабых сторон и угроз

Слабые стороны				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	0	+	0
	B2	+	+	-

На третьем этапе должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 7).

Таблица 7 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны:</b> С1. Алгоритм адаптивен. т.е. имеет независимость от времени суток, а зависит от загруженности; С2. Алгоритм может быть перенастроен в зависимости от результатов исследования; С3. Модель транспортных в целом соответствует реальным условиям; С4. Уменьшает время разгрузки перекрёстка по сравнению с жестким управлением светофора.	<b>Слабые стороны:</b> Сл1: Сложность реализации на аппаратном уровне; Сл2: Требовательность к вычислительным ресурсам Сл3: В модели отсутствует дополнительное условие в виде пешеходного перехода;
<b>Возможности:</b> В1. Возможность использования адаптивного алгоритма управления и для беспилотных автомобилей; В2. Возможность реализации нового алгоритма управления, т.к. модель транспортных потоков уже разработана	В1С1С2, В2С2С3 – гибкость алгоритма позволяет перенастраивать его под потребности заказчика;	В1Сл2 – в случаях работы с беспилотными автомобилями алгоритму понадобится меньшая требовательность к вычислительным ресурсам; В2Сл1Сл2 – новый алгоритм возможно потребует меньшую сложность реализации
<b>Угрозы:</b> У1. Сложность натурного проведения экспериментов; У2. Необходимость в установлении связи с администрацией в случае конечной реализации	У1С1С2 – Проведение работ в реальных условиях может дать оценку эффективности алгоритма У2С1С2С3 – сильные стороны могут стать аргументами в пользу проведения натурных экспериментов	У1Сл1Сл2 – Необходимость подбора контроллеров управления, который может реализовать данный алгоритм; У2Сл1Сл2Сл3 – слабые стороны могут стать контраргументами против введения алгоритма

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 7.

Таблица 8 – Перечень работ по проекту

Основные этапы	№ раб	Наименование работы	Исполнители работы
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Руководитель, Студент
Выбор направления исследования	2	Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	Руководитель, Студент
	3	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	Студент
	4	Анализ предметной области	Студент
Разработка технической документации и проектирование	5	Разработка модели транспортных потоков	Студент
	6	Разработка классического алгоритма управления светофором	Студент
	7	Разработка адаптивного алгоритма управления светофором	Студент
	8	Тестирование программного комплекса и анализ полученных результатов	Студент
	9	Сравнение и анализ адаптивного и классического алгоритмов управления светофором	Студент
Оформление отчета по работе	10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Руководитель, Студент
	11	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Студент
	12	Подведение итогов, оформление работы	Студент

### 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для того чтобы определить трудоемкость работ, используются следующие показатели:

- Ожидаемое значение трудоемкости,
- Продолжительность каждой работы,
- Продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях,
- Коэффициент календарности.

Расчет ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ож}$  осуществляется согласно формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (5.1)$$

где  $t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел.-дни,

$t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел.-дни.

Далее определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дни,

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дни,

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика, осуществляется перевод длительности каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни по следующей формуле:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (5.3)$$

где  $T_{ки}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях,

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях,

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (5.4)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году,

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году,

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному календарю (для 6-дневной рабочей недели) в 2019 году 365 календарных дней, из них 66 выходных или праздничных дней, следовательно,  $k_{\text{кал}} = 1,22$ .

Расчеты по трудоемкости выполнения работ представлены в таблице 8. Диаграмма Ганта, построенная по рассчитанным показателям, представлена в таблице

Таблица 9 – Временные показатели осуществления разработки

№	Наименование работы	Исполнители работы	Трудоемкость работ, чел.-дни			Длительность работ, дни	
			$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	$T_p$	$T_k$
1	Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Студент	4	7	5,2	3	4
		Руководитель	4	7	5,2	3	4
2	Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	Студент	2	4	2,8	3	4
3	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	Студент	7	12	9	9	11
4	Анализ предметной области	Студент	7	15	10,2	10	12
5	Разработка модели транспортных потоков	Студент	15	25	19	19	23
6	Разработка классического алгоритма управления светофором	Студент	4	8	5,6	6	7
7	Разработка адаптивного алгоритма управления светофором	Студент	5	12	7,8	8	10
8	Тестирование программного комплекса и анализ полученных результатов	Студент	8	15	10,8	11	13
9	Сравнение и анализ адаптивного и классического алгоритмов управления светофором	Студент	8	15	10,8	11	13
10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Руководитель	1	3	1,8	1	1
		Студент	1	3	1,8	1	1
11	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Студент	5	7	5,8	6	7
12	Подведение итогов, оформление работы Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Студент	3	4	3,4	3	4



Таблица 10 – Диаграмма Ганта

№	Наименование работы	Исполнители	$T_{к, кал.}$ дн.	Продолжительность выполнения работы														
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Студент	4		■													
		Руководитель	4		■													
2	Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	Студент	4		■													
3	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	Студент	11			■												
4	Анализ предметной области	Студент	12				■											
5	Разработка модели транспортных потоков	Студент	23					■	■	■								
6	Разработка классического алгоритма управления светофором	Студент	7								■							
7	Разработка адаптивного алгоритма управления светофором	Студент	10									■						
8	Тестирование программного комплекса и анализ полученных результатов	Студент	13										■	■				
9	Сравнение и анализ адаптивного и классического алгоритмов управления светофором	Студент	13											■	■			
10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Студент	1												■			
		Руководитель	1												■			
11	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Студент	7													■		
12	Подведение итогов, оформление работы Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Студент	4														■	

## **5.2.4 Бюджет научно-технической разработки**

### **5.2.4.1 Расчет материальных затрат**

Данная статья затрат включает в себя затраты на приобретение сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих со стороны. Также в эту статью включаются транспортные расходы, равные 15 % от общей стоимости материальных затрат.

Общая сумма материальных затрат включает в себя только затраты на канцелярские принадлежности (250 руб.), для которых не учитываются транспортные расходы.

Таким образом, общая сумма материальных затрат составляет 250 руб.

### **5.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование**

Расчет амортизации персонального компьютера, используемого при написании работы: первоначальная стоимость персонального компьютера составляет 40000 рублей; срок полезного использования для офисных машин – 3 года; планируется использовать персональный компьютер для написания ВКР в течение 6 месяцев. Тогда:

- норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,33 \%, \quad (5.5)$$

- годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 40000 \cdot 0,33 = 13200 \text{ руб.}, \quad (5.6)$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{13200}{12} = 1100 \text{ руб.}, \quad (5.7)$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 1100 \cdot 6 = 6600 \text{ руб.} \quad (5.8)$$

Итоговая сумма затрат на амортизацию составила 6600 руб.

### 5.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств.

В таблице 10 показаны количества календарных, нерабочих и праздничных дней, дней, пришедшихся на потерю рабочего времени, и действительный годовой фонд рабочего времени.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	243

Количество месяцев работы без отпуска принимается за 10,4 (с учетом длительности отпуска в 48 дней). Тогда, зная месячную заработную плату, можно рассчитать среднедневную заработную плату:

$$З_{\text{рук}}^{\text{рук}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{33664 \cdot 10,4}{243} = 1441,76 \text{ руб.}, \quad (5.9)$$

$$З_{\text{студ}}^{\text{студ}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{1906 \cdot 10,4}{243} = 81,57 \text{ руб.} \quad (5.10)$$

Расчет основной заработной платы осуществляется по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{р}}, \quad (5.11)$$

где  $З_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.,

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни,

$K_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент,

$K_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок,

$K_{\text{р}}$  – районный коэффициент (1,3 в Томске).

Результаты соответствующих расчетов приведены в таблице 11.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{дн}}$ , руб.	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{р}}$	$T_{\text{р}}$	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Студент	81,57	0,3	0,2	1,3	90	14315,53
Научный руководитель	1441,76	0,3	0,2	1,3	4	11245,72
Итого						25561,25

#### 5.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Зная основную заработную плату, можно рассчитать дополнительную заработную плату в размере 12 % от основной:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (5.12)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительная заработная плата,

$З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата.

Таблица 13 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$З_{\text{осн}}$ , руб.	$З_{\text{доп}}$ , руб.
Студент	0,12	14315,53	1717,86
Научный руководитель	0,12	11245,72	1349,48
Итого			3067,34

#### 5.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются как:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (5.13)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент внебюджетные фонды; в 2019 г., в соответствии с Федеральным законом для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, используется пониженная ставка – 30%,

$З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата,

$З_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

Таблица 14– Расчет страховых отчислений

Исполнители	$k_{\text{внеб}}$	$З_{\text{доп}}$	$З_{\text{осн}}$	$З_{\text{внеб}}$
Студент	0,30	1717,86	14315,53	4810,02
Научный руководитель	0,30	1349,48	11245,72	3778,56
Итого				8588,58

#### 5.2.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. Их величина определяется согласно следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (\text{сумма статей расходов}), \quad (5.14)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов, принятый за 16 %.

Таблица 15 – Расчет накладных расходов

Статьи затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	250
Затраты на амортизацию	6600
Затраты на основную заработную плату	25561,25
Затраты на дополнительную заработную плату	3067,34
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	8588,58
Накладные расходы	7014,75

#### 5.2.4.7 Формирование бюджета затрат проекта разработки

Рассчитанные величины затрат научно-исследовательской работы являются основой для формирования бюджета затрат проекта. Результаты составления итогового бюджета разработки представлены в таблице 15.

Таблица 16 – Бюджет затрат на разработку

Наименование	Сумма, руб.
Материальные затраты	250
Затраты на амортизацию	6600
Затраты на основную заработную плату студенту	14315,53
Затраты на дополнительную заработную плату студенту	1717,86
Затраты на основную заработную плату научному руководителю	11245,72
Затраты на дополнительную заработную плату студенту научному руководителю	1349,48
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	8588,58
Накладные расходы	7014,75
Общий бюджет	51081,93

### 5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i b_i, \quad (5.15)$$

где,  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки,  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки,  $b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В таблице 16 приведена сравнительная характеристика между разработкой автора, системой умного светофора Scalable Urban Traffic Control (Surtrac) компании Rapid Flow и австралийской разработкой Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS).

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Вес. коэф.	Surtrac	SCATS	Разработка студента
1. Низкая требовательность к вычислительным ресурсам	0,1	1	2	4
2. Интерактивная модель транспортных потоков для проведения симуляции	0,15	2	4	4
3. Решение проблемы, связанной с пешеходным переходом	0,2	3	3	0
4. Высокие результаты по сравнению с классическим алгоритмом управления	0,25	5	5	5
5. Поддержка нескольких настроек управления	0,05	3	2	4
6. Интегрируемость	0,25	3	5	1

В результате расчётов получились следующие интегральные показатели ресурсоэффективности:  $I_{\text{студент}} = 4,1$ ;  $I_{SCATS} = 5,4$ ;  $I_{\text{Surtrac}} = 3,85$ .

Как видно из расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности разработка автора в чем-то превосходит Surtrac.

Главным достоинством данной работы является более низкая требовательность к вычислительным ресурсам.

#### **5.4 Заключение по разделу**

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

- 1) SWOT-анализ дал возможность провести оценки факторов и явлений, влияющих на проект. Были исследованы внешняя и внутренняя среды проекта;
- 2) была разработана таблица временных показателей, рассчитана заработная плата разработчиков системы;
- 3) затраты на разработку системы составили 51081,93руб.;
- 4) проведена оценка ресурсоэффективности проекта (4,1 по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности реализации данного технического проекта.

## **6 Социальная ответственность**

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка адаптивного алгоритма управления светофором на основе клеточных автоматов. Разработанный алгоритм может использоваться в сфере инфраструктуры для регулировки светофора.

В данном разделе ВКР исследованы меры по защите работника от возможного негативного воздействия среды, а также вредные и опасные факторы среды, а также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и необходимые действия, которые разработчик должен выполнить в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Были выделены и рассмотрены следующие факторы, воздействующие на разработчика программы:

1. Недостаточная освещенность рабочей зоны
2. Отклонение параметров микроклимата
3. Превышения уровня шума
4. Нервно-психические перегрузки.

К опасным факторам при работе с персональным компьютером относятся высокое напряжение и возможность короткого замыкания, влекущего за собой опасность поражения разработчика электрическим током. Рассмотрены вопросы правового регулирования трудовых отношений, связанных с использованием разработанной системы.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В данном подразделе необходимо рассмотреть специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. Необходимо указать особенности трудового законодательства применительно к конкретным условиям проекта. Например, режим рабочего времени, защита персональных данных работника; оплата и нормирование труда; виды компенсаций при работе во вредных условиях



труда, особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания и т.д.

### **6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами. Согласно трудовому кодексу РФ:

- продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю;
- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения.

Существуют также специализированные органы, осуществляющие государственный контроль и надзор в организациях на предмет соблюдения существующих правил и норм. К таким органам относятся:

1. Федеральная инспекция труда;
2. Государственная экспертиза условий труда Федеральной службы по труду и занятости населения;
3. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и др.

### **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса.

Рабочее место должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать возможность удобного выполнения работ,
- учитывать физическую тяжесть работ,

- учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего,
- учитывать технологические особенности процесса выполнения работ.

Невыполнение требований к расположению и компоновке рабочего места может привести к получению пользователем производственной травмы или развития у него профессионального заболевания.

Нормативными документами, регламентирующими деятельность работника с использованием ПЭВМ, являются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [24], Гигиенические требования к ПЭВМ и организации труда и Инструкция по охране труда при работе с ПК.

- Конструкция оборудования и рабочего места при выполнении работ в положении сидя должна обеспечивать оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности, высоты сидения, оборудованием пространства для размещения ног и высотой подставки для ног;
- Схемы размещения рабочих мест с персональными компьютерами должны учитывать расстояния между рабочими столами с мониторами: расстояние между боковыми поверхностями мониторов не менее 1,2 м, а расстояние между экраном монитора и тыльной частью другого монитора не менее 2,0 м. Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, обращенного к пользователю. Быстрое и точное считывание информации обеспечивается при расположении плоскости экрана ниже уровня глаз пользователя, предпочтительно перпендикулярно к нормальной линии взгляда (нормальная линия взгляда 15 градусов вниз от горизонтали).
- Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

## 6.2 Производственная безопасность

Вредные и опасные факторы, воздействующие на сотрудника, устанавливаются согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [25] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке описанной системы представлены в таблице 1.

Таблица 18 - Вредные и опасные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Разработка адаптивного алгоритма управления светофором	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 2. Превышение уровня шума на рабочем месте; 3. Отклонение параметров микроклимата на рабочем месте; 4. Психофизиологические факторы: нервно-психические нагрузки;	1. Электрический ток (использование ПК) 2. Возможность короткого замыкания. 3. Повышенный уровень статического электричества.	Освещение, шум, статическое электричество, психофизиологические факторы: - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, - ТОИ Р-45-084-01. Микроклимат: - СанПиН 2.2.4.548-96, - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Электрический ток, короткое замыкание: - «Правила устройства электроустановок», утвержденные приказом Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР от 05.10.1979 г. - ГОСТ 12.1.033-81 - «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», утверждённые Приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. - «Межотраслевые правила охраны труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» (ПОТ РМ 016-2001), утвержденные

			Постановлением Минтруда России от 05.01.2001 г. № 3
--	--	--	---

### 6.2.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

При разработке программы к негативным факторам можно отнести повышенные урени излучения, а также увеличенную нагрузку на зрительные органы.

Требования к освещению установлены в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [24] (см. таблицу 2).

Таблица 19 – Требования к освещению на рабочих местах

Освещенность на рабочем столе	300 - 500 лк
Освещенность на экране ПЭВМ	Не более 300 лк
Блики на экране	Не более 40 кд/м <sup>2</sup>
Прямая блескость источника света	Не более 200 кд/м <sup>2</sup>
Показатель ослепленности	Не более 20
Показатель дискомфорта	Не более 15
Отношение яркости между рабочими поверхностями	3:1 - 5:1
Отношение яркости между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации	Не более 5 %

### 6.2.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

ПК является источником повышенного уровня электромагнитных излучений, повышающих риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний и негативно влияющих на нервную систему.

Оценка опасности воздействия электромагнитного поля на человека производится по величине электромагнитной энергии, поглощаемой телом человека, с учетом электрической и магнитной напряженностей поля.

Практически, при обслуживании даже мощных, электроустановок высокого напряжения магнитная напряженность значительно меньше опасной (в 8 раз), поэтому оценку потенциальной опасности воздействия электромагнитного поля достаточно производить по величине электрической напряженности поля. В соответствии с ГОСТ 12.1.002-84 [26],

ССБТ «Электромагнитные поля токов промышленной частоты. Общие требования безопасности», нормы допустимых уровней напряженности электромагнитных полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне.

Присутствие персонала на рабочем месте в течение 8 ч допускается при напряженности, не превышающей 5 кВ/м. Основными видами средств коллективной защиты от воздействия электромагнитного поля токов промышленной частоты являются стационарные или переносные заземленные экранирующие устройства. Так как электромагнитное излучение в месте работы не превышает 5 кВ/м, применение экранирующих устройств не требуется.

### 6.2.3 Превышение уровня шума

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [24] установлены допустимые значения уровней звукового давления, создаваемого ПЭВМ (таблица 3).

Таблица 20 – Допустимые значения уровней звукового давления

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, дБ									Уровень звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

### 6.2.4 Отклонение параметров микроклимата

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные

параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Содержание вредных химических веществ в производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.), не должно превышать предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест в соответствии с действующими гигиеническими нормативами.

Также указывается, что в помещениях с ПЭВМ должна ежедневно проводиться влажная уборка.

Уставленные гигиенические нормативы для помещений с ВДТ и ПЭВМ для категории работы 1б приведены в таблице 4.

Таблица 21 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1а	22-24	20-24	40-60	0.1
Теплый	(до 120 ккал/ч)	23-25	21-25		

### 6.2.5 Статическое электричество

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, токи статического электричества чаще всего возникают при прикосновении персонала к любому из элементов ПЭВМ. Такие разряды опасности для человека не представляют, однако кроме неприятных ощущений могут привести к выходу оборудования из строя.

Для предотвращения образования и защиты от статического электричества в помещении используются нейтрализаторы и увлажнители, а полы имеют антистатическое покрытие в виде поливинилхлоридного антистатического линолеума.

Также в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 установлен максимальный допустимый электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500 В.

В качестве мер уменьшения влияния вредных факторов на пользователя используются защитные фильтры для мониторов, увлажнители воздуха. Должны использоваться розетки с заземлением. Требуется проводить регулярную влажную уборку.

### **6.2.6 Электрический ток**

К опасностям использования электрического тока относятся возможность поражения электрическим током, а также воспламенения электронных устройств из-за воздействия различных условий – попадания влаги или нарушения изоляции. Поражение электрическим током может привести к ожогам, судорогам, повреждению нервной системы, а также смерти. Возникновение пожара может привести к последствиям, описанным в ГОСТ 12.1.033-81 [27].

Во избежание негативных эффектов необходимо соблюдать правила пожарной и электрической безопасности. Подготовка к возникновению данных ситуаций должна производиться до начала работы.

Требования безопасности при эксплуатации электрооборудования регламентируются следующими нормативными актами:

- правилами устройства электроустановок (издание шестое с отдельными разделами и главами в издании седьмом), утвержденными Главтехуправлением, Госэнергонадзором Минэнерго СССР 05.10.19 г.
- правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей, утверждёнными Приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. №6;
- межотраслевыми правилами охраны труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ 016-2001), утвержденными Постановлением Минтруда России от 05.01.2001 г. №3.

Согласно им:

- электрооборудование, имеющее контакты для подключения заземления, должно быть заземлено, а помещения, где размещаются

рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации оборудования;

- все крышки и защитные панели должны находиться на своих местах (при отсутствии крышки или защитной панели эксплуатация электрооборудования не допускается);
- при работе с электрооборудованием не допускать попадания влаги на поверхность электрооборудования, а также запрещается работать с электрооборудованием влажными руками;
- вентиляционные отверстия электрооборудования не должны быть перекрыты находящимися вплотную стенами, мебелью, посторонними предметами;
- выдергивание штепсельной вилки электроприбора необходимо осуществлять за корпус штепсельной вилки, при необходимости придерживая другой рукой корпус штепсельной розетки;
- подключение и отключение разъемов компьютеров и оргтехники должно производиться при отключенном питании (за исключением подключения и отключения USB-устройств);
- удаление пыли с электрооборудования должно производиться в отключенном от электрической цепи состоянии;
- перед использованием электроприборов необходимо проверить надёжность крепления электророзетки, свериться с номиналом используемого напряжения;
- корпуса штепсельных розеток и выключателей не должны содержать трещин, оплавлений и других дефектов, способных снизить защитные свойства или нарушить надёжность контакта;
- кабели (шнуры) электропитания не должны содержать повреждений изоляции, сильных изгибов и скручиваний.



### 6.2.7 Психофизиологические факторы

Работа с ПК сопряжена с воздействием вредных психофизиологических факторов, в частности, нервно-психических перегрузок. Для снижения воздействия вредных факторов, устанавливаются перерывы в работе для отдыха сотрудников. Суммарное время регламентированных перерывов при работе с ПК зависит от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену. В таблице 5 приведено суммарное время отдыха для каждой категории работ.

Таблица 22 – Суммарное время отдыха для различных категорий работ

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену			Суммарное время регламентированных перерывов при 8-часовой смене, мин.
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, часы	
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90

При разработке программы уровень нагрузки относился к группе В, категория работы III. Согласно таблице, суммарное время перерывов необходимо установить не менее 90 минут. По типовой инструкции по охране труда при работе на персональном компьютере ТОО Р-45-084-01 [28] для данной категории работ требуется установить перерывы по 15 минут каждый трудовой час.

### 6.3 Экологическая безопасность

Для разработки адаптивного алгоритма управления светофором с помощью клеточных автоматов необходим ПК, потому воздействие на литосферу происходит при утилизации компьютера.

Федеральный закон № 89 от 1998г. «Об отходах производства и потребления» запрещает юридическим лицам самовольно избавляться от опасных отходов. Этим видом деятельности, согласно постановлению Правительства РФ № 340 от 2002 г., могут заниматься только специализированные структуры. В их число входят и фирмы, которые занимаются утилизацией электронных отходов. Обращение с отходами

регламентируется ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами.» [29]

Поэтому, при необходимости утилизировать вышедшую из употребления электронику наиболее безопасным для окружающей среды способом необходимо обращаться в специализированную компанию по утилизации. Такие компании действуют на всей территории Российской Федерации, в том числе и в Томской области.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при разработке алгоритма является пожар на рабочем месте. В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

- в помещении должны находиться средства тушения пожара, средства связи;
- электрическая проводка электрооборудования и осветительных приборов должна быть исправна;
- все сотрудники должны знать место нахождения средств пожаротушения, средств связи и номера экстренных служб;
- все сотрудники должны иметь компетенции по использованию указанных выше средств пожаротушения и связи.

В связи с возможностью возникновения пожара разработан следующий план действий:

- в случае возникновения пожара сообщить о нем руководителю, постараться устранить очаг возгорания имеющимися силами при помощи первичных средств пожаротушения (огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)-ABCE);
- привести в действие ручной пожарный извещатель, если очаг возгорания потушить не удастся;
- сообщить о возгорании в службу пожарной охраны по телефону 01, 101 или 112; сообщить адрес, место и причину возникновения пожара;

- принять меры по эвакуации людей;
- встретить пожарную охрану, при необходимости сообщить всю необходимую информацию и оказать помощь при выборе наилучшего маршрута к очагу возгорания.

Рабочее помещение, использованное при разработке системы, оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности: имеются порошковый огнетушитель, пожарная сигнализация и соответствующие средства связи.

### **6.5 Заключение по разделу**

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться человек, разрабатывающий программу определения эмоционального состояния группы людей, а также проведен анализ нормативной документации.

Установлено, что рабочее место удовлетворяет требованиям безопасности. Выполняемая работа не сопряжена с высоким риском травматизма.

Освещение на рабочем месте соответствует нормам – используются энергосберегающие лампы.

Уровни шума находятся в допустимых пределах – источником шума при эксплуатации ПК являются системы охлаждения. Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования.

В виду того, что корпус ПК является токонепроводящим, необходимость в мерах против статического электричества отсутствует.

Во время работы осуществляются перерывы для снижения нагрузки и предотвращения нервно-психических перегрузок.

Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности. Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной

безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы была построена модель транспортных потоков на основе клеточных, описывающая двустороннее движение, регулируемый светофором перекресток, автоматов и применен к нему разработанный адаптивный алгоритм управления светофором.

Адаптивный алгоритм включает в себя два параметра: степенной и инерционный. С помощью построения трехмерных графиков были определены наиболее оптимальные значения этих параметров. Так, для степенного параметра оптимальные значения находятся в диапазоне  $(0, 2]$ , а оптимальные значения инерционного параметра в диапазоне  $(5, \infty)$ . С такими значениями параметров адаптивный алгоритм превосходит классический на 70 % в данной модели.

К недостаткам разработанного алгоритма можно отнести отсутствие учета влияния пешеходного перехода. Данная проблема усложнит алгоритм, так как придется добавлять к параметрам еще и количество пешеходов. В дальнейшем планируется исследовать влияние пешеходного перехода.

### Список используемых источников

1. Агеева, Л.И. Транспорт в России 2018 [Текст] / Л.И. Агеева, И.В. Акимова, М.А. Акимова, Л.Н. Кобринская, Т.Н. Савостьянова, Г.А. Уварова // Федеральная служба государственной статистики: стат.сб. – Москва, 2018. – с. 52.
2. INRIX [электронный ресурс] / The INRIX global traffic scorecard.: Inrix.com, 2019 – Режим доступа: <http://inrix.com/scorecard/#> (дата обращения 05.05.2019)
3. TomTom [электронный ресурс] / TomTom traffic index measuring congestion worldwide.: Tomtom.com, 2019 – Режим доступа: [https://www.tomtom.com/en\\_gb/trafficindex/list?citySize=LARGE&continent=ALL&country=ALL](https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/list?citySize=LARGE&continent=ALL&country=ALL) (дата обращения 05.05.2019)
4. Интеллектуальные транспортные системы России [электронный ресурс] / Международный форум 29-30 марта: Москва, 2018 – Режим доступа: <https://itsrussiaforum.ru/ryazan/>
5. Rapid Flow [электронный ресурс] / Scalable Urban Traffic Control.: Surtrac, 2018 - Режим доступа: <https://www.rapidflowtech.com/surtrac> (дата обращения 05.05.2019)
6. Transport Roads and Maritime Service [электронный ресурс] / Sydney Coordinated Adaptive Traffic System.: SCATS, 2019 – Режим доступа: <https://www.scats.com.au/how-scats-works.html> (дата обращения 05.05.2019)
7. Kyosan [электронный ресурс] / Autonomous Distributed Signal Control.: Products and Services Traffic Management Solutions, 2019 – Режим доступа: <https://www.kyosan.co.jp/english/product/traffic02.html> (дата обращения 05.05.2019)
8. Мэр-Воронежа.РФ «Умные светофоры»: Интеллектуальная система контроля дорожного движения [Электронный ресурс]Ж Интернет-проект об изменениях в Воронеже от депутата Воронежской областной думы Константина Ашифина – Воронеж 2017. – Режим доступа: <http://mer-voronezha.ru/articles/71> (дата обращения 05.05.2019)

9. Казаков, А. В российских мегаполисах могут появиться умные светофоры [Электронный ресурс] / А. Казаков // Известияю – 2019. 8 февраля. – Режим доступа <https://iz.ru/843290/2019-02-08/v-rossiiskikh-megapolisakh-mogut-poiavitsia-umnye-svetofory> (дата обращения 05.05.2019)
10. Долгушин Д.Ю. Применение клеточных автоматов к моделированию автотранспортных потоков / Д.Ю. Долгушин, Т.А. Мызникова. Омск, СибАДИ, 2012. – с. 118
11. Zuse K. Calculating space. Cambridge, Mass. 0213: Massachusetts Institute of Technology. Proj. MAC, 1970. – February. Translation of “Rechnender Raum”.
12. Нейман Д., фон. Теория самопроизводящихся автоматов / закончено и отред. [предисловие и введ., с. 40-48, написаны] А.В. Бёрксом: пер. с англ. В.Л.Стефанюка; под. Ред. В.И. Варшавского. – М.:Мир, 1971. – 384 с.
13. Тоффоли Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тофолли, Н. Марголус; под ред. Б.В. Баталова: пер. с англ. П.А. Власова, Н.В. Барабанова. – М.: Мир, 1991. – 278 с.
14. Liana Manukyan, Sophie A. Montandon, Anamarija Fofonjka, Stanislav Smirnov & Michel C. Milinkovitch. A living mesoscopic cellular automaton made of skin scales // Nature. — 2017. — Vol. 544. — P. 173–179.
15. Peak, West and Messinger, Mott. Evidence for complex, collective dynamics and emergent, distributed computation in plants. Proceedings of the National Institute of Science of the USA
16. William Gilpin. Cellular automata as convolutional neural networks. Department of Applied Physics, Stanford University. – 2018
17. Andreas Deutsch and Sabine Dormann. 4.2 Biological Applications // Cellular Automaton Modeling of Biological Pattern Formation. — Springer Science + Business Media, 2017.
18. Zhong Zheng. Forest fire spread simulating model using cellular automaton with extreme learning machine / Zhong Zheng, Wei Huang, Wei Huang, Wei Huang. School of Geoscience and Info-Physics, Central South University, China, 2016

19. Tomassini, M.; Sipper, M.; Perrenoud, M. (2000). "On the generation of high-quality random numbers by two-dimensional cellular automata". IEEE Transactions on Computers.
20. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // J.Phys. I.France. 1992. Vol. 2. Pp. 2221-2229.
21. Yong Chen. Traffic Flow Modeling and Simulation Based on A Novel Cellular Learning Automaton / Yong Chen , Hong He, Ning Zhou // The International Conference of Intelligent Robotic and Control Engineering, IEEE, - 2018
22. Chongyuan Tao. A Cellular Automata Simulation on Multi-lane Traffic Flow for Designing Effective Rules / Chongyuan Tao, Jian Zhang // International Conference on Industrial Informatics-Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration, IEEE, - 2015
23. Xiao-Fangyang. Study on the traffic flow under keep-right-except-to-pass rule based on cellular automata model / Xiao-Fangyang ; Jun-Feng Li // International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), IEEE, - 2015
24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 54 с.
25. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 01.03.2017 – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 16 с.
26. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. – Введ. 01.01.86 – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.
27. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения. – Введ. 01.07.1982 – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 9 с.
28. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. – Утверждено Приказом Минсвязи РФ от 2 июля 2001 г. № 162
29. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. – Введ. 15.12.2009 – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 20 с.





## Приложение А

(справочное)

### Схемы заполнения матриц

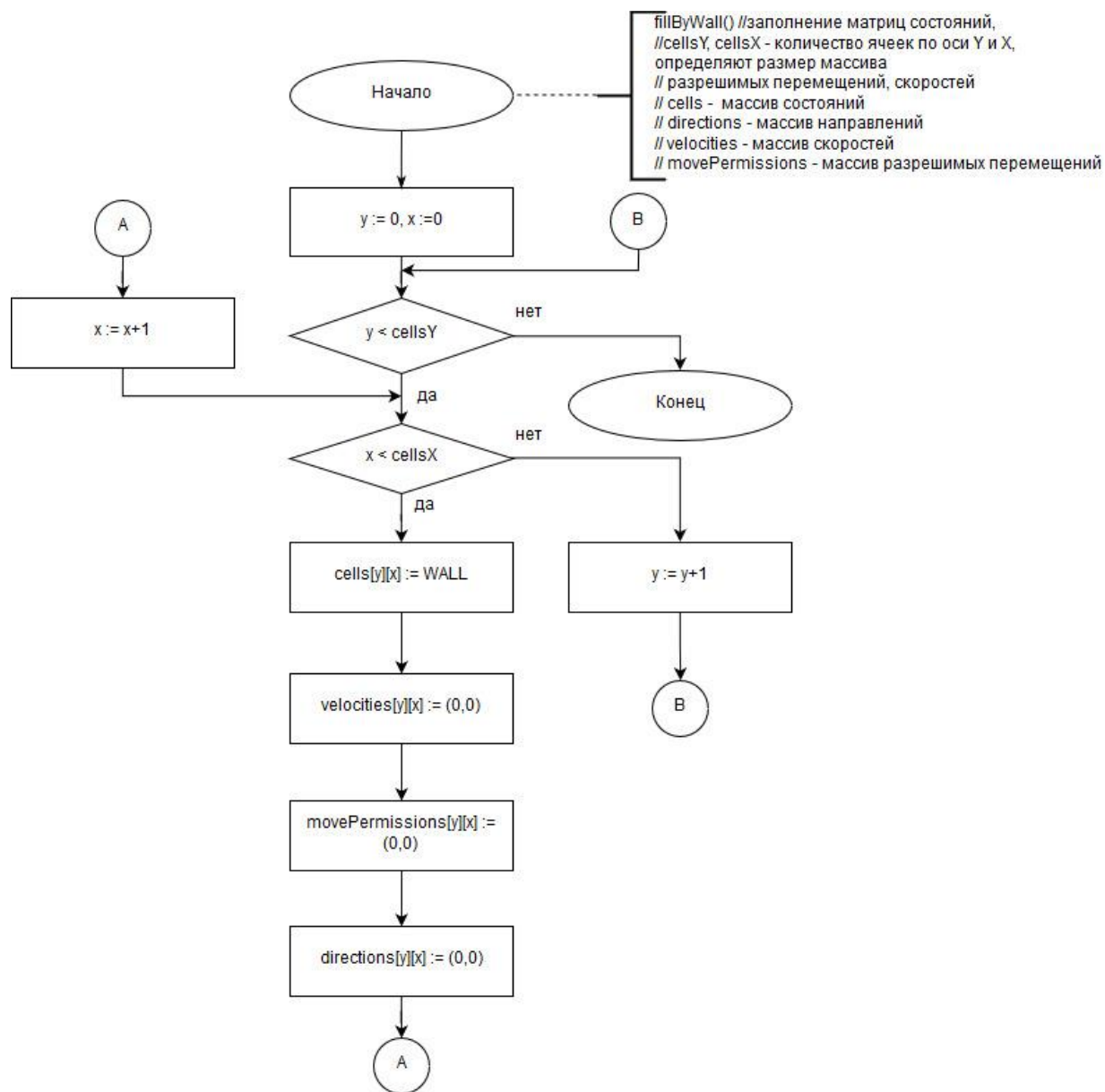


Рисунок А.1 - Схема алгоритма заполнения матриц состояний, направлений, разрешимых перемещений для начальных условий

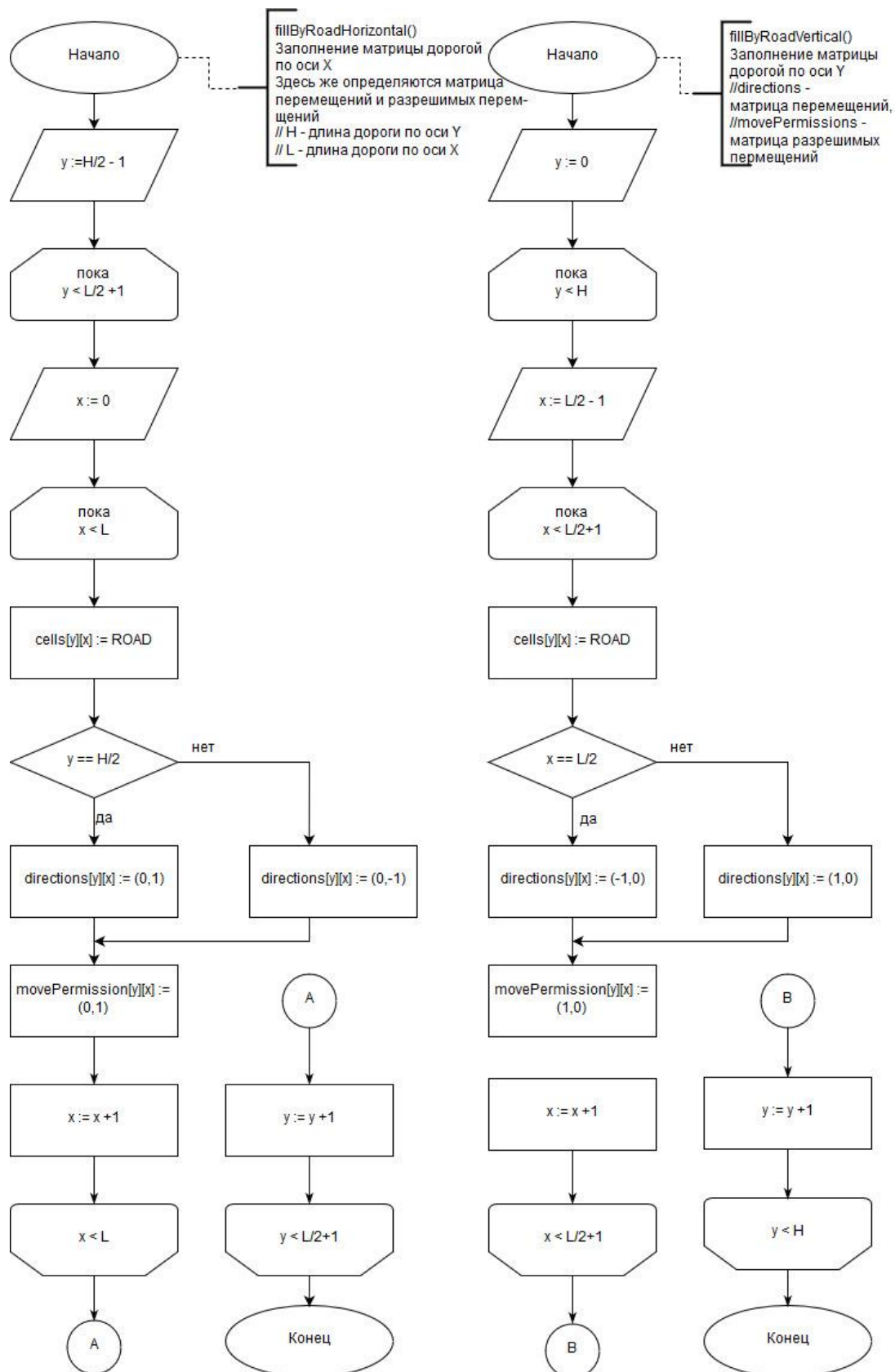


Рисунок А.2 – Схема заполнения матрицы дорогами (ROAD)

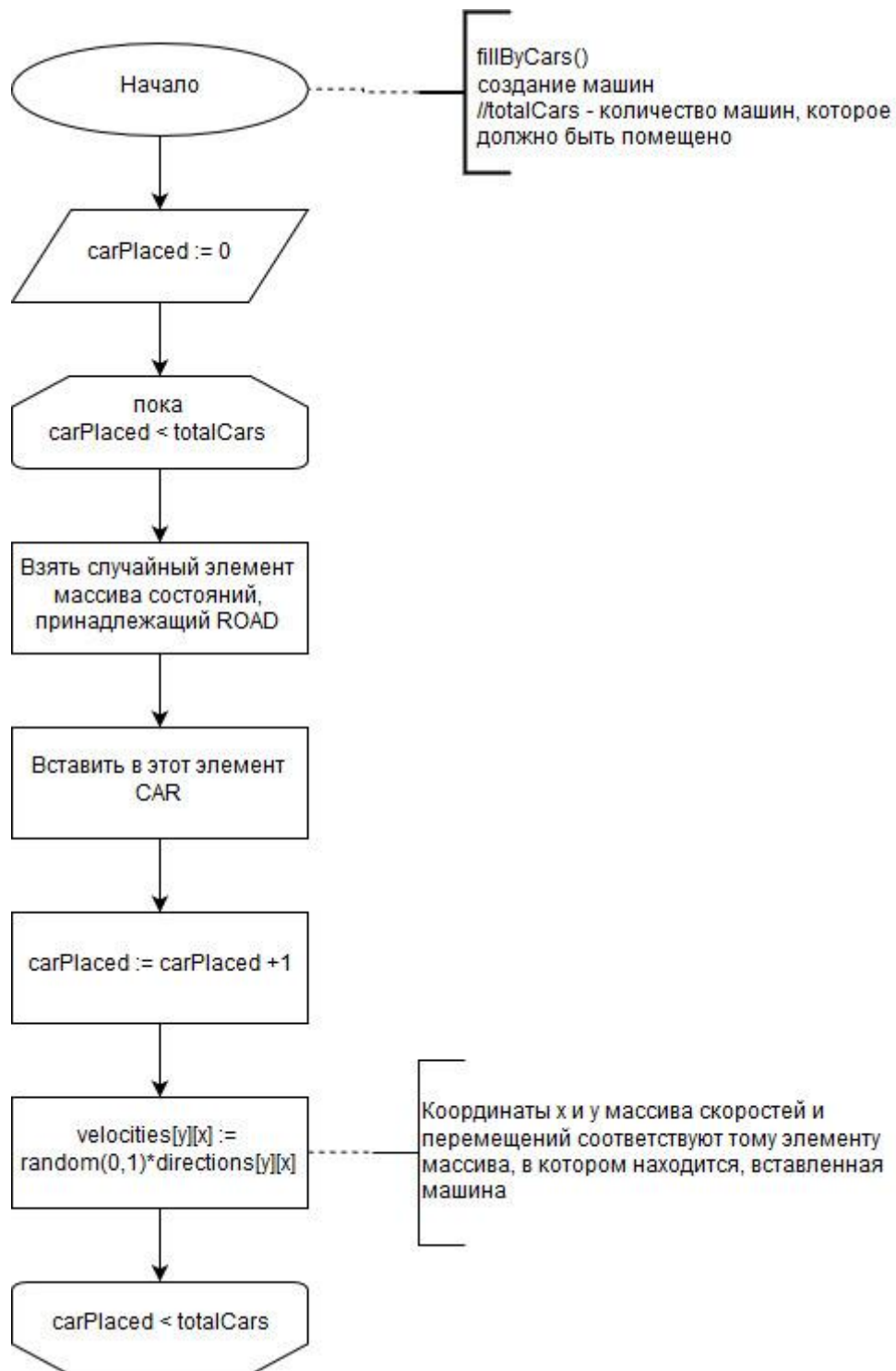


Рисунок А.3 – Схема заполнения матриц машинами (CAR)

## Приложение Б

(справочный)

### Классический и адаптивный алгоритмы работы светофора

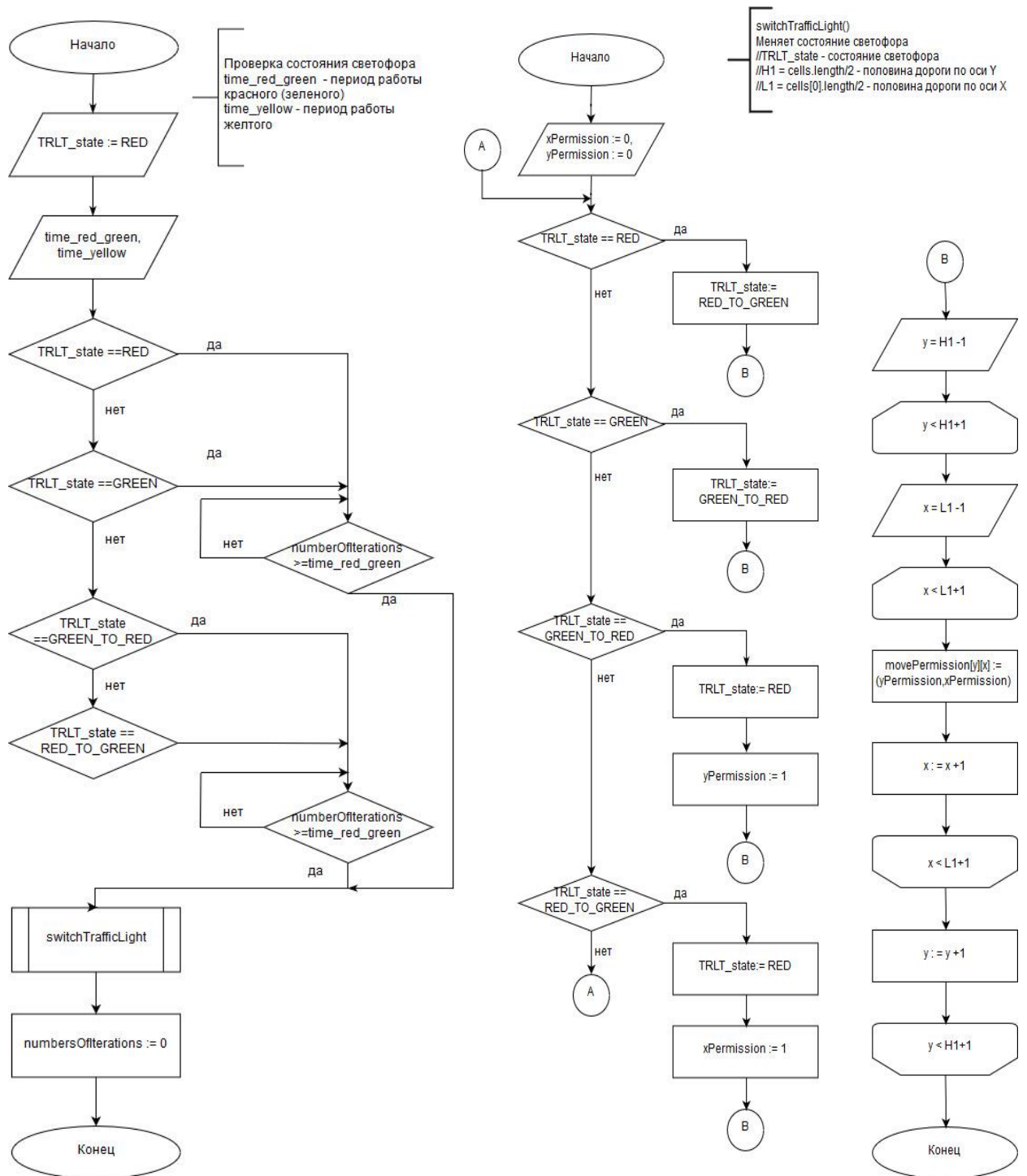


Рисунок Б.1 – Схема классического алгоритма

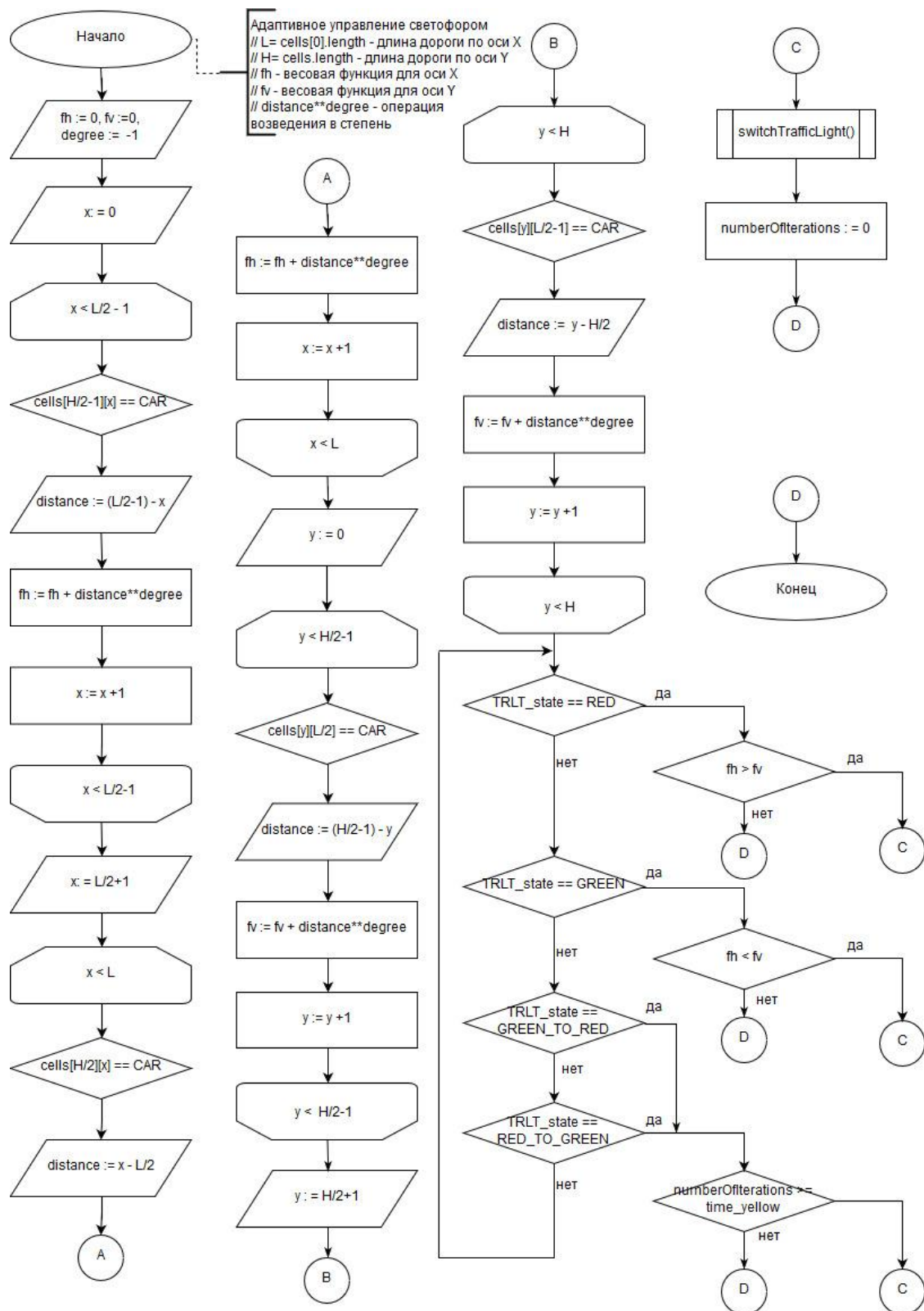


Рисунок Б.2 – Схема адаптивного алгоритма