

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СВЕТОФОРНОГО ОБЪЕКТА

*Н. С. Монтик, ст. преподаватель кафедры интеллектуальных информационных технологий, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: nikolay.montik@gmail.com*  
*Е.В. Рудецкий, студент факультета интеллектуальных информационных технологий, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, e-mail: zenka.rud@gmail.com*

---

### Реферат

В данной статье рассмотрена система моделирования работы светофорного объекта на перекрестке. Обсуждаются перспективы автоматизации управления дорожным движением с использованием адаптивных алгоритмов. Описаны преимущества и недостатки традиционных и адаптивных систем управления светофорами. Представлены структура программы моделирования и алгоритмы работы модели.

**Ключевые слова:** светофор, моделирование, адаптивное управление, дорожное движение, автоматизация, алгоритмы, транспортные потоки.

---

## MODELING THE OPERATION OF A TRAFFIC LIGHT OBJECT

M. S. Montsik, E. V. Rudetsky

### Abstract

In this article, a system for modeling the operation of a traffic light object at an intersection is considered. The prospects of automating traffic management using adaptive algorithms are discussed. The advantages and disadvantages of traditional and adaptive traffic light control systems are described. The structure of the modeling program and the algorithms of the model are presented.

**Keywords:** traffic light, modeling, adaptive control, traffic, automation, algorithms, traffic flows.

---

### Введение

В последнее время наблюдается быстрый прогресс в развитии комплексных автоматизированных систем управления дорожным движением в городах и регионах [1–3]. Эти системы интегрируют различные технологии, такие как компьютеры, средства автоматики, телемеханики, связи и видеонаблюдения, для централизованного контроля транспортных потоков. Практика доказала высокую эффективность таких комплексных подходов в решении транспортных проблем, и в особенности, адаптивных методов управления [4–7].

Традиционные методы управления светофорами, имеют ряд недостатков:

- неэффективное использование зеленого сигнала – когда на одном направлении нет машин, а на других направлениях образуются очереди.
- несоответствие длительности фаз светофора фактической интенсивности потока – что снижает пропускную способность и создает заторы.

Данная работа направлена на разработку программного обеспечения для сравнительного анализа работы традиционных жестких и адаптивных алгоритмов управления светофорными объектами.

### 1 Постановка задачи

Перед внедрением и созданием какого-либо дорогостоящего проекта или системы всегда следует оценить ее возможности. Эту проблему решает метод моделирования. Несмотря на то, что имитационное моделирование является относительно недорогим способом тестирования алгоритмов управления светофорами, оно сталкивается с проблемой создания оптимальной модели, адекватно отображающей реальную дорожную обстановку. Поэтому следует выбирать модель по соотношению полнота/затратность.

Перекресток удобно представить как граф с двенадцатью вершинами, в котором каждая вершина будет отображать начальную полосу движения, а ребро – конфликт, который будет создаваться при одновременном движении из этих полос. Такой граф будет называться “графом конфликтов” (см. рисунок 1).

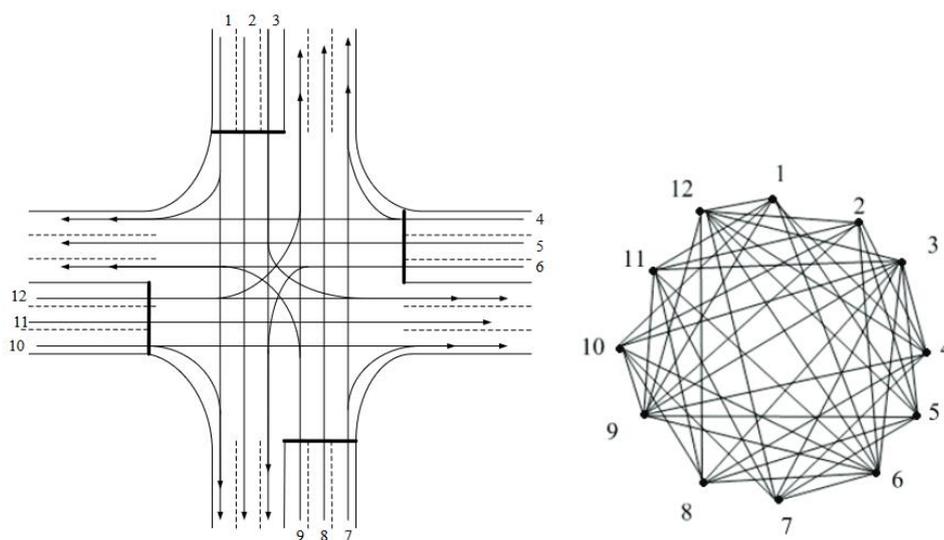
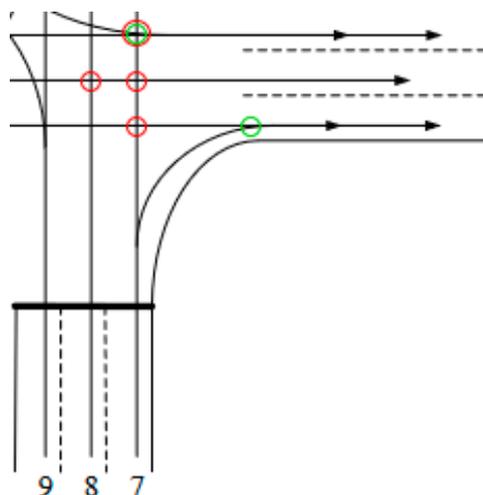


Рисунок 1 – Граф конфликтов

Таким образом задача о моделировании светофора сводится к своеобразному раскрашиванию вершин графа (схожего с графом конфликтов) с максимизацией выгоды, а также разработке различных алгоритмов раскраски графа и программы визуализации.

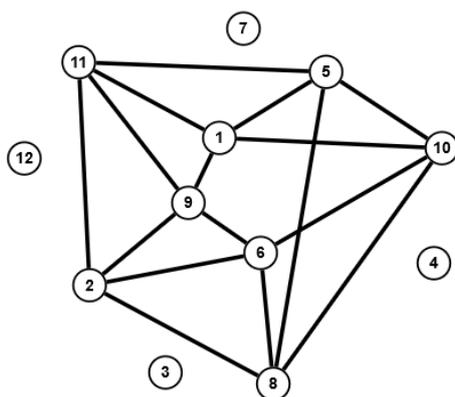
### 2 Теоретическая часть

Рассмотрим подробнее конфликты и, в частности, конфликты слияния и пересечения на перекрестке. Слияние – ситуация, когда взаимодействующие участники одновременно претендуют на одну и ту же ограниченную, точечную территорию. Пересечение – ситуация, когда взаимодействующие участники сталкиваются в конфликтной точке. Некоторые конфликты пересечения и слияния в упрощенном виде изображены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Пересечение (красный), слияние (зеленый)**

Моделирование будет происходить на следующем перекрестке: из одного направления есть только три траектории: транзитная (средняя полоса), поворот налево (крайняя левая полоса), поворот направо (крайняя правая полоса). Граф конфликтов для такого перекрестка изображен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Граф конфликтов**

Необходимо также отметить некоторые особенности работы модели:

- генерация транспортных средств на  $i$ -ой полосе происходит по нормальному распределению, при этом, если полоса уже задействована, то шанс появления транспортного средства снижается на 25 % от заданного значения пользователем;
- за одну итерацию из каждой полосы может выехать либо одно, либо два транспортных средства (определяются случайным образом). Существует также указанная при настройке модели вероятность того, что в каждую полосу будет добавлено одно новое транспортное средство;
- для представления графа конфликтов в программе используется список смежности `graph_conf`. Например, `graph_conf [0]` содержит `{4, 8, 9, 10}`, что означает, что вершина 0 конфликтует с вершинами 4, 8, 9 и 10;
- для отрисовки траектории движения используется массив типа `bool` – `check_conf`. То есть, если в ходе моделирования нужно отрисовать траекторию из полосы под индексом 0, то в массив `check_conf [0]` вписываем значение `true`;

- массив `start_pos` типа структуры `Position` хранит в себе количество машин на полосе, путь к изображению траектории, а также подходит ли *i*-ая полоса максимальной полосе.

### 3 Алгоритм работы программы. Виды моделирования

Алгоритм.

1. Запуск программы и ввод настроек моделирования.
2. Выбор модели и запуск моделирования, генерируется исходное количество транспортных средств на каждой полосе, запускается элемент `Timer`.
3. Внутри элемента `Timer` каждые *n* миллисекунд начинается работать выбранная модель, результаты моделирования записываются в статистику.
4. Если работающие полосы изменились, то происходит перерисовка элемента `TImage` (перекрестка).
5. Если нажата кнопка “Стоп”, то моделирования прекращается до повторного нажатия кнопки “Стоп”, либо до начала нового моделирования.

*Виды моделирования. Модель жесткого светофора.*

Данная модель светофора работает независимо от количества машин на данном направлении и конфликтующих направлений. Работает он следующим образом: 3 итерации машины едут со всех полос одного определенного направления. Порядок работы отображен на рисунке 4.

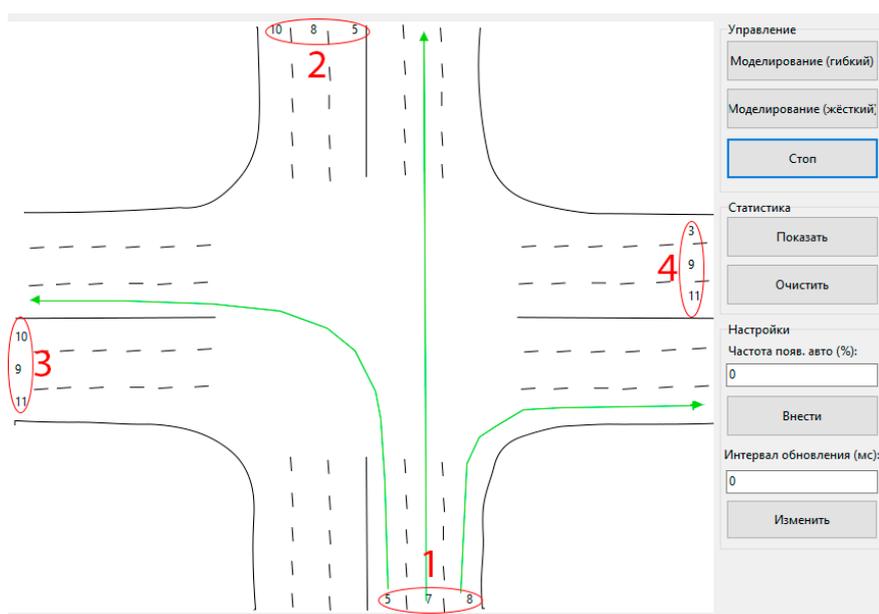


Рисунок 4 – Порядок работы

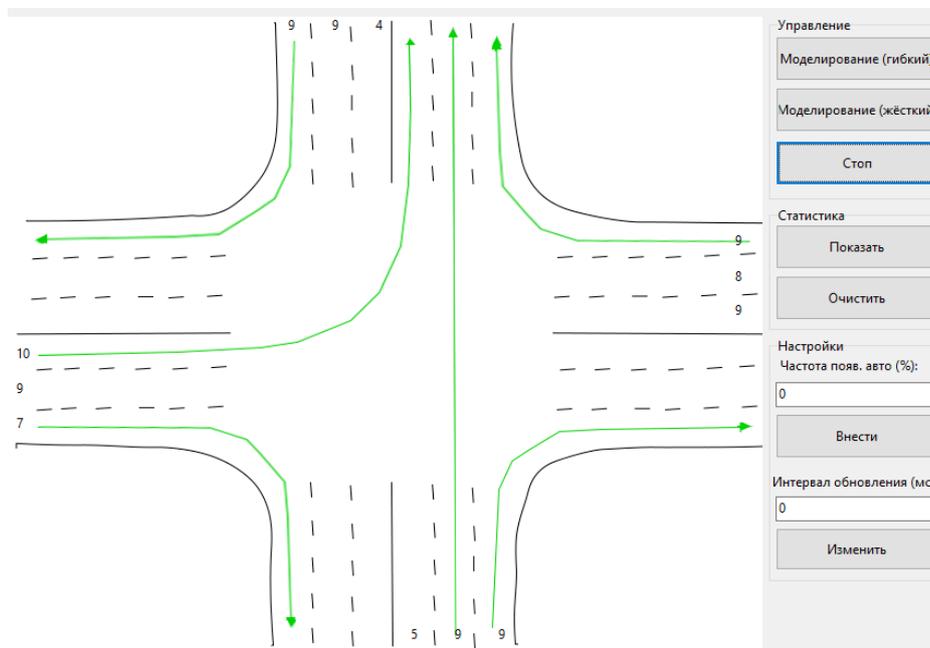
*Модель гибкого светофора.*

Данная модель светофора при своей работе учитывает средние значения транспортных средств со всех направлений, а также количество транспортных средств, с которыми конфликтует *i*-ая полоса (жадный алгоритм). Генерируется начальное количество транспортных средств на каждой полосе, далее ищется максимальное значение среди этих полос (основная). Следом ищется неконфликтная (дополнительная) полоса с максимальным количеством транспортных средств. Т. о. движение транспорта по этой полосе прекращается, если выполняется данное условие

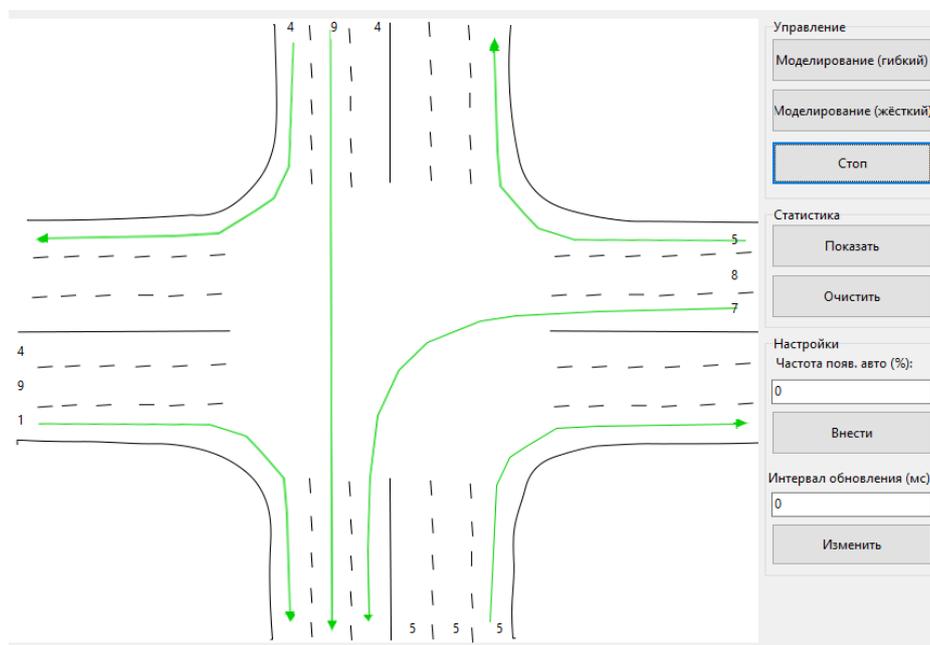
$$x \leq y - y * 0.25, \quad (1)$$

где  $x$  – это количество транспортных средств на основной полосе, а  $y$  – среднее количество транспортных средств на всех полосах.

Пример работы данной модели приведен на рисунках 5, 6.



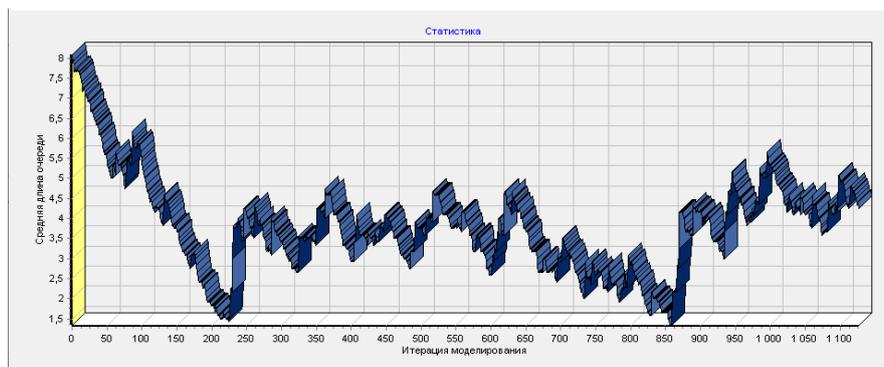
*Рисунок 5 – Исходное состояние перекрестка*



*Рисунок 6 – Состояние перекрестка после смены полос*

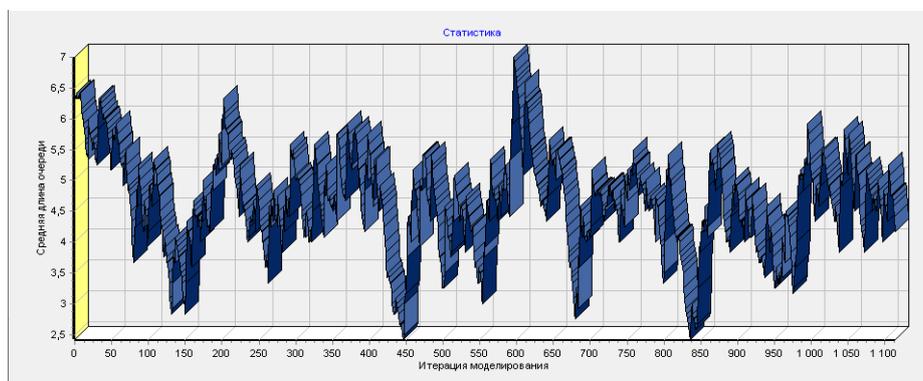
#### 4 Тестирование и анализ результатов

При вероятности появления транспортных средств равной 35 % график средней длины гибкой модели на перекрестке имеет вид (см. рисунок 7). Также представлена статистика очередей (см. таблицу 1).



**Рисунок 7 – График гибкой модели**

При вероятности появления транспортных средств равной 35 % график средней длины жесткой модели на перекрестке имеет вид (см. рисунок 8). Также представлена статистика очередей (см. таблицу 2).



**Рисунок 8 – График жесткой модели**

**Таблица 1 – Статистика очередей светофора с гибким регулированием**

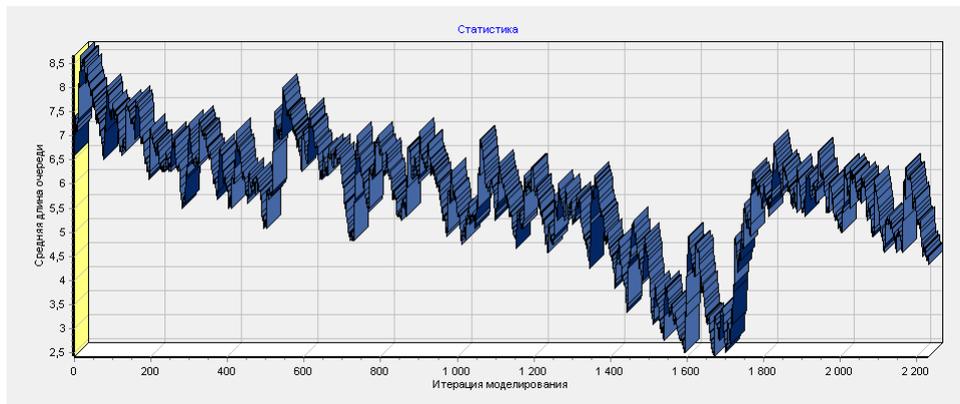
№ Направления	Интенсивность потока, %	Максимальная длина очереди, авт.	Среднее значение очереди, авт.	Среднее время ожидания, с
1	35	6	3,5	23,25
2	35	7	3,7	23,64
3	35	8	4,1	23,78
4	35	7	3,95	23,83

**Таблица 2 – Статистика очередей светофора с жестким регулированием**

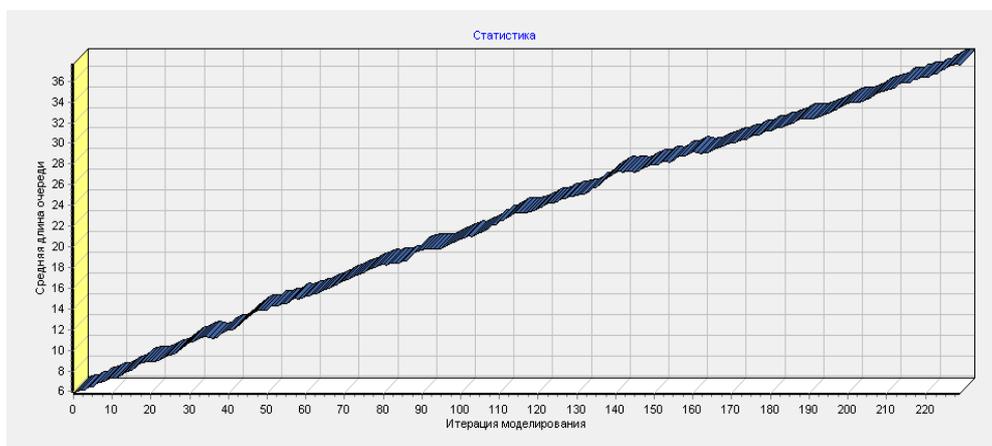
№ Направления	Интенсивность потока, %	Максимальная длина очереди, авт,	Среднее значение очереди, авт,	Среднее время ожидания, с
1	35	7	4,2	25,25
2	35	7	4,6	26,64
3	35	8	4,45	28,78
4	35	8	4,76	27,83

При вероятности появления транспортных средств равной 50 %, график средней длины гибкой модели на перекрестке имеет вид (см. рисунок 9). Также представлена статистика очередей (см. таблицу 3). При вероятности появления

транспортных средств равной 50 %, график средней длины жесткой модели на перекрестке имеет вид (см. рисунок 10). Также представлена статистика очередей (см. таблицу 4).



**Рисунок 9 – График гибкой модели**



**Рисунок 10 – График жесткой модели**

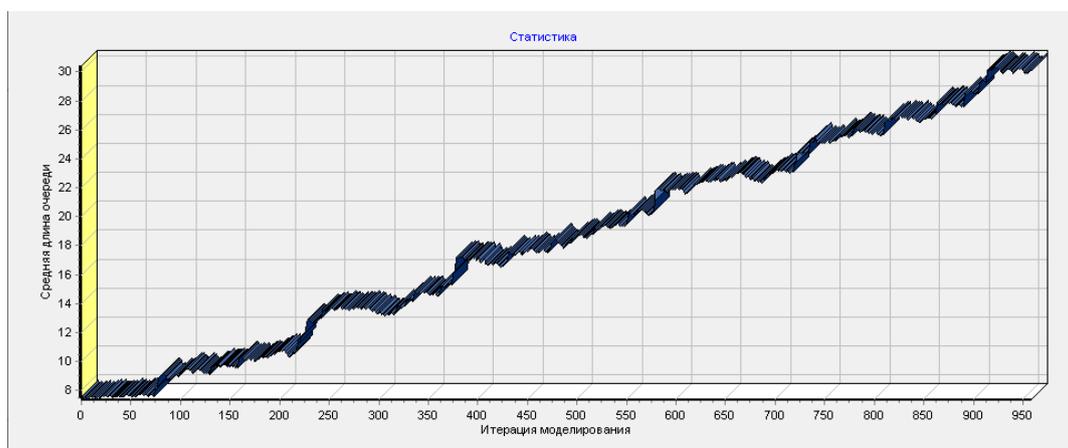
**Таблица 3 – Статистика очередей светофора с гибким регулированием**

№ Направления	Интенсивность потока, %	Максимальная длина очереди, авт,	Среднее значение очереди, авт,	Среднее время ожидания, с
1	50	10	3,5	30,7
2	50	11	3,7	31,4
3	50	10	4,1	32,8
4	50	12	3,95	30,92

**Таблица 4 – Статистика очередей светофора с жестким регулированием**

№ Направления	Интенсивность потока, %	Максимальная длина очереди, авт,	Среднее значение очереди, авт,	Среднее время ожидания, с
1	50	36	26	62,4
2	50	42	24	66,67
3	50	35	25	64,85
4	50	44	22	69,88

При вероятности появления транспортных средств равной 75 % график средней длины гибкой модели на перекрестке имеет вид (см. рисунок 11). Также представлена статистика очередей (см. таблицу 5).



*Рисунок 11 – График гибкой модели*

Таблица 5 – Статистика очередей светофора с гибким регулированием

№ Направления	Интенсивность потока, %	Максимальная длина очереди, авт,	Среднее значение очереди, авт,	Среднее время ожидания, с
1	75	35	22	47,64
2	75	33	23	44,55
3	75	30	21	45,62
4	75	38	24	50,54

Необходимо отметить, что вероятность появления транспортных средств при тестировании была постоянной.

Анализ графиков показал, что при низкой интенсивности транспортного потока обе модели демонстрируют схожие результаты, однако гибкая модель имеет важное преимущество в виде снижения времени ожидания в очереди. Это достигается за счет меньшего количества резких перепадов в графике движения, что способствует более плавному потоку транспорта.

Когда интенсивность движения увеличивается, жесткая модель начинает испытывать трудности с обработкой нагрузки, что приводит к увеличению времени ожидания и возникновению заторов. Гибкая модель продолжает эффективно справляться с возрастающей нагрузкой, динамически адаптируясь к изменяющимся условиям. Однако при достижении 75 % от максимальной пропускной способности она также перестает справляться с нагрузкой.

### **Заключение**

Исходя из полученных результатов тестирования, можно сделать вывод, что гибкая модель управления дорожным движением значительно превосходит жесткую модель по ряду ключевых параметров, таких как время ожидания в очереди, средняя длина очереди, максимальная длина очереди и т. д. В последнее время появились новые методы управления транспортными потоками, основанные на мультиагентном подходе [8–12].

### Список цитированных источников

1. Шуть, В. Н. Оптимизация управления автотранспортом перед светофором в улично-дорожной сети города / В. Н. Шуть, В. С. Партин, С. В. Анфилец, В. В. Касьяник // Вестник БрГТУ. Физика, математика, информатика. – 2008. – № 5 (53). – С. 110–112.
2. Шуть, В. Н. Робототехническая магистральная система «Пешеходный переход» / В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. – 2014. – № 4 – С. 423–427.
3. Шуть, В. Н. Расширение возможностей оптимального управления транспортными потоками в улично-дорожной сети города / В. Н. Шуть // Електроніка та інформаційні технології : зб. наук. прац. – Вип. 3. – Львов, 2013 – С. 193–201.
4. Анфилец, С. В. Адаптивный алгоритм управления на основе поэтапной настройки светофорных объектов по магистрали / С. В. Анфилец, В. Н. Шуть // Доклады БГУИР, – 2011. – № 6 (60). – С. 79–86.
5. Анфилец С. В. Компьютерный расчет восстанавливаемых экологических потерь при внедрении адаптивной системы на улично-дорожной сети города / С. В. Анфилец, В. Н. Шуть // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 106–108.
6. Шуть, В. Н. Поддержка решений и анализ условий включения адаптивной системы управления светофорным объектом на пешеходных переходах улично-дорожной сети / В. Н. Шуть // Вестник БрГТУ. Физика, математика, информатика. – 2011. – № 5. – С. 54–57.
7. Шуть, В. Н. Центрирование импульса интенсивности для адаптивной настройки сдвигов фаз / В. Н. Шуть, С. В. Анфилец // Наука и техника. – 2012. – № 2. – С. 59–63.
8. Шуть, В. Н. Расширение возможностей оптимального управления транспортными потоками в улично-дорожной сети города / В. Н. Шуть // Електроніка та інформаційні технології : зб. наук. праць. – Вип. 3. – Львов, 2013. – С. 193–201.
9. Шуть, В. Н. Управление движением автотранспортных средств с использованием мобильного помощника водителя / В. Н. Шуть // Проблемы информационных технологий / Херсонский национальный технический университет. – 2013. – № 01 (013). – С. 159–164.
10. Шуть, В. Н. Мультиагентное управление перекрестком / В. Н. Шуть // Вестник Херсонского нац. технич. ун-та. – 2014. – № 3 (50) – С. 179–184.
11. Шуть, В. Н. Мультиагентное управление движением транспортных средств в улично-дорожной сети города // Искусственный интеллект, 2014. – № 4. – С. 123–128.
12. Климович, А. Н. Современные подходы и алгоритмы управления транспортными потоками / А. Н. Климович, А. С. Рыщук, В. Н. Шуть // Вестник Херсонского нац. технич. ун-та. – 2015. – № 3 (54). – С. 252–256.

### References

1. Shut, V,N, Optimizatsiia upravleniia avtotransportom pered svetoforom v ulichno-dorozhnoi seti goroda / V,N,Shut, V,S, Partin, S,V, Anfiletc, V,V, Kasianik // Vestnik BrGTU, – 2008, – № 5(53): Fizika, matematika, informatika, – S, 110–112,
2. Shut, V,N, Robototekhnicheskaiia magistralnaia sistema «Peshekhodnyi perekhod» / V,N, Shut // «Iskusstvennyi intellekt» № 3, IPII «Nauka i osvita», : Donetsk : 2011, – S, 423–427,
3. Shut, V,N, Rasshirenie vozmozhnostei optimalnogo upravleniia transportnymi potokami v ulichno-dorozhnoi seti goroda,/ V,N,Shut// «Elektronika ta informatciini tekhnologii», Zbirnik naukovikh prac , Vipusk 3, – Lvov, 2013 – S, 193–201,
4. Anfiletc, S, V, Adaptivnyi algoritm upravleniia na osnove poetapnoi nastroiiki svetofornykh obektov po magistrali / S, V, Anfiletc, V, N, Shut // Doklady BGUIR, - 2011, - № 6 (60), - S, 79 - 86,
5. Anfiletc S,V,, Shut V,N, Kompiuternyi raschet vosstanavlivaemykh ekologicheskikh poter pri vnedrenii adaptivnoi sistemy na ulichno-dorozhnoi seti goroda // Vestnik BrGTU, – 2011, – № 2(68) : Vodokhoziaistvennoe stroitelstvo, teploenergetika i geoekologiiia, – S, 106–108,
6. Shut, V,N, Podderzhka reshenii i analiz uslovii vklucheniia adaptivnoi sistemy upravleniia svetofornym obektom na peshekhodnykh perekhodakh ulichno-dorozhnoi seti / V,N,Shut // «Vestnik BrGTU № 5»: Fizika, matematika, informatika: Brest: BrGTU, 2011, – S,54–57,
7. Shut, V,N, Tcentrirovaniie impulsa intensivnosti dlia adaptivnoi nastroiiki sdvigov faz / V,N,Shut, S,V,Anfiletc // «Nauka i tekhnika», Mezhdunarodnyi nauchno-tekhnicheskii zhurnal, № 2: Minsk: 2012, – S, 59–63,

8. Shut, V,N, Rasshirenie vozmozhnostei optimalnogo upravleniia transportnymi potokami v ulichno-dorozhnoi seti goroda,/ V,N,Shut// «Elektronika ta informatciini tekhnologii», Zbirnik naukovikh prac , Vipusk 3, – Lvov, 2013 – S, 193–201,

9. Shut, V,N, Upravlenie dvizheniem avtotransportnykh sredstv s ispolzovaniem mobilnogo pomoshchnika voditelia / V,N, Shut // «Problemy informatcionnykh tekhnologii, №01(013) »: Kherson, Khersonskii natsionalnyi tekhnicheskii universitet: 2013, – S, 159–164,

10. Shut, V,N, Multiagentnoe upravlenie perekrestkom / V,N, Shut // «Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta №3(50) »: Kherson: 2014, – S, 179–184,

11. Shut V,N Multiagentnoe upravlenie dvizheniem transportnykh sredstv v ulichno-dorozhnoi seti goroda // Iskustvennyi intellekt№4, Donetsk: IPII «Nauka i osvita, 2014, – S, 123–128,

12. Klimovich, A,N, Sovremennye podkhody i algoritmy upravleniia transportnymi potokami / A,N,Klimovich, A,S,Ryshchuk, V,N,Shut // «Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta №3(54)»: Kherson: 2015, – S, 252–256,

УДК: 517, 519.8, 621+37

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СВЯЗИ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН В STEM ОБРАЗОВАНИИ

*С. Назаров, к. т. н., ректор Государственного энергетического института  
Туркменистана, Мары, Туркменистан, e-mail: energetikatdei@gmail.com*  
*М. Рахимов, д. ф.-м. н., профессор, заведующий кафедрой высшей математики,  
Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Турк-  
менистан, e-mail: rahymowtihammet72@gmail.com*

*Ш. Аннабердиев, преподаватель кафедры высшей математики  
Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары,  
Туркменистан, e-mail: rahymowtihammet72@gmail.com*

*Я. Алламырадов, преподаватель кафедры высшей математики,  
Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары,  
Туркменистан, e-mail: rahymowtihammet72@gmail.com*

### Реферат

В данной работе рассматриваются научно методические вопросы STEM образования. Приводятся важные примеры технико-экономического и инженерно-технологического характера, выявляются принципиальные вопросы внедрения STEM-образования в учебный процесс. В учебном процессе рекомендуется использовать STEM:IT образование. В связи с внедрением STEM:IT образование приведены необходимые результатов по исследованию уравнения Навье-Стокса, решения задачи оптимального моделирования, линеаризации уравнения Навье – Стокса и оптимального режима (оптимальные функциональные зависимости) насоса и греющего устройства в зависимости от скорости течения жидкости.

**Ключевые слова:** STEM образование, межотраслевая балансовая модель, модель Кобба-Дугласа, оптимальная модель, режим насоса, уравнения Навье-Стокса, телеграфное уравнение.