



ISSN 2071-2898 (Print)  
ISSN 2071-2901 (Online)

Чечина А.А., Герман М. С.,  
Ермаков А.В., Трапезникова М.А.,  
Чурбанова Н.Г.

Моделирование и  
визуализация потоков  
автотранспорта на  
элементах улично-дорожной  
сети с использованием  
комплекса программ САМ-  
2D

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Моделирование и визуализация потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети с использованием комплекса программ САМ-2D / А.А.Чечина [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2016. № 124. 18 с. doi:[10.20948/prepr-2016-124](https://doi.org/10.20948/prepr-2016-124)  
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2016-124>

**Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В.Келдыша  
Российской академии наук**

**А.А. Чечина, М.С. Герман, А.В. Ермаков,  
М.А. Трапезникова, Н.Г. Чурбанова**

**Моделирование и визуализация  
потоков автотранспорта  
на элементах улично-дорожной сети  
с использованием комплекса программ  
САМ-2D**

**Москва — 2016**

***Чечина А.А., Герман М.С., Ермаков А.В., Трапезникова М.А., Чурбанова Н.Г.***

**Моделирование и визуализация потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети с использованием комплекса программ САМ-2D.**

Приводится краткое описание двумерной математической модели для исследования динамики автотранспортных потоков. Модель основана на теории клеточных автоматов. Подробно описываются различные способы задания начальных данных, запуска на счет и графического отображения результатов с помощью комплекса программ САМ-2D.

**Ключевые слова:** автотранспортные потоки, микроскопическая модель, задание начальных данных, графическое отображение результатов.

***Antonina Alexandrovna Chechina, Mikhail Sergeevich German, Alexey Viktorovich Ermakov, Marina Alexandrovna Trapeznikova, Natalia Gennadievna Churbanova***

**Modeling and visualization of vehicular flow on the road network elements using CAM-2D program system.**

A brief description of 2D mathematical model is presented to investigate traffic flow dynamics. The model is based on cellular automata theory. Different ways of specifying initial data, running the program and graphical displaying of the results by CAM-2D program are described in detail.

**Key words:** vehicular traffic flows, microscopic model, initial data specification, graphical display of results.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 16-01-00347-а, № 15-01-03445-а, 16-31-00087-мол.

## **Оглавление**

Введение .....	3
Краткое описание микроскопической модели .....	3
Программный комплекс САМ-2D .....	5
Режимы работы светофора .....	7
Численная реализация модели .....	12
Отображение результатов.....	13
Заключение.....	16
Список литературы.....	16

## **Введение**

В области микромоделей для описания динамики автотранспортных потоков заметное место занимают модели, основанные на теории клеточных автоматов [1], поскольку могут обеспечить более интуитивный подход к моделированию физического явления, чем моделирование, например, с использованием уравнений математической физики. Модели клеточных автоматов являются дискретными и состоят в обновлении состояния рассматриваемой системы в каждый отдельный момент времени, из которых состоит весь рассматриваемый временной промежуток. Моделирование такого типа требует набора определенных правил обновления, которые принимают во внимание особенности исследуемого явления, но в достаточно простой форме.

В противоположность относительной простоте вычислительного алгоритма, в ситуации с использованием клеточных автоматов возникают трудности визуализации и интерпретации полученных результатов. Самым простым является получение интегральных величин. Например, в случае исследования пропускной способности перекрестка естественным является понимать под пропускной способностью количество автомобилей, которые пересекли перекресток за некоторое контрольное время. Тем не менее, интегральные характеристики не дают возможности проследить эволюцию транспортных потоков, что при исследовании процессов на транспортных развязках представляет иногда наибольший интерес. Вычисление на каждом временном шаге осредненных полей плотности (как в макроскопических моделях) также не приводит к адекватным результатам вследствие дискретности модели [2]. С другой стороны, современные графические методы предоставляют широкие возможности для наглядного изображения на экране движения автомобилей по элементам улично-дорожной сети (УДС).

В данной работе показаны инструменты графического интерфейса, разработанные для удобства задания начальных данных моделируемого фрагмента транспортной сети и графического представления результатов. Графический интерфейс настроен на текущую версию вычислительного модуля и имеет некоторые ограничения, которые в следующих версиях планируется снять.

## **Краткое описание микроскопической модели**

В моделях клеточных автоматов, используемых для описания движения автотранспорта, формируется аналог магистрали — сетка, состоящая из отдельных клеток, каждая из которых может содержать внутри себя одну и только одну частицу (в данном случае — автомобиль). Движение частиц осуществляется путем «перепрыгивания» частицы из одной клетки в другую, как правило — в одном направлении, причем промежуточные клетки должны

быть пустыми. Ко всем частицам применяются одни и те же локальные правила обновления.

Основной, классической, моделью динамики транспортных потоков на основе клеточных автоматов является однополосная модель Нагеля-Шрекенберга [1]. В работах [2, 3] приведено описание двумерной транспортной модели клеточных автоматов, являющейся оригинальным обобщением модели Нагеля-Шрекенберга на двумерный случай путем введения многополосности и добавления алгоритма перестроения из полосы в полосу. На рис.1 приведен пример отрезка четырехполосной трассы в виде расчетной сетки для многополосной модели клеточных автоматов:

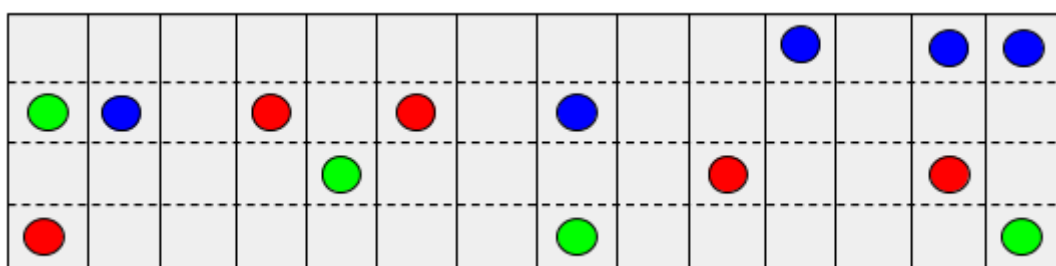


Рис. 1 Расчетная область многополосной модели клеточных автоматов.

Каждый автомобиль характеризуется своим положением на трассе – номер полосы и номер клетки вдоль полосы. Кроме того, каждый автомобиль имеет свой цвет, обозначающий его цель: например, поворот направо или налево, проезд прямо и т.д.

Двумерная модель была реализована в виде комплекса программ, имеющего модульную структуру, в которой каждый модуль отвечает за расчет отдельного элемента УДС — узла или ребра графа транспортной сети с механизмом обмена данными между соседними элементами [4]. Модуль обладает многими возможностями имитации поведения автотранспортных средств. Важнейшими из них являются: движение автомобилей по полосе; перестроение автомобиля из полосы в полосу; обгон автомобилями один другого (возможен только при многополосном движении); поворот; реакция на сигнал светофора; поведение на сложных регулируемых и нерегулируемых перекрестках; въезды и выезды с основной трассы. Программные модули запускались в пакетном режиме, начальные данные задавались в текстовом файле, осуществлялась синхронная визуализация результатов моделирования движения на отдельных элементах УДС. С целью построения дорожных графов различной конфигурации возникла необходимость совместной визуализации динамики транспорта на сложных составных участках транспортной сети и создания гибкой интерактивной системы взаимодействия с пользователем как на этапе подготовки начальных данных вычислительного эксперимента, так и на этапе обработки и анализа результатов.

## Программный комплекс САМ-2D

Программный комплекс САМ-2D (Cellular Automata Model in 2D case - Модель клеточных автоматов в двумерном случае) предназначен для интерактивного моделирования автотранспортных потоков. Он позволяет задавать параметры участков дорог и транспортных развязок, типы перекрестков, режимы работы светофоров и т.п. Эта информация задается в качестве начальных данных расчетному модулю. После выполнения расчета программный комплекс позволяет отобразить результаты моделирования на заданной дорожной схеме.

Система позволяет создавать различные конфигурации транспортной сети, расставляя необходимое количество исследуемых перекрестков на поле 10x10 (рис. 2). Пользователь может конфигурировать перекрестки в любой удобной последовательности, затем выбирать и исследовать любой из необходимых фрагментов транспортной сети, как это описано далее.

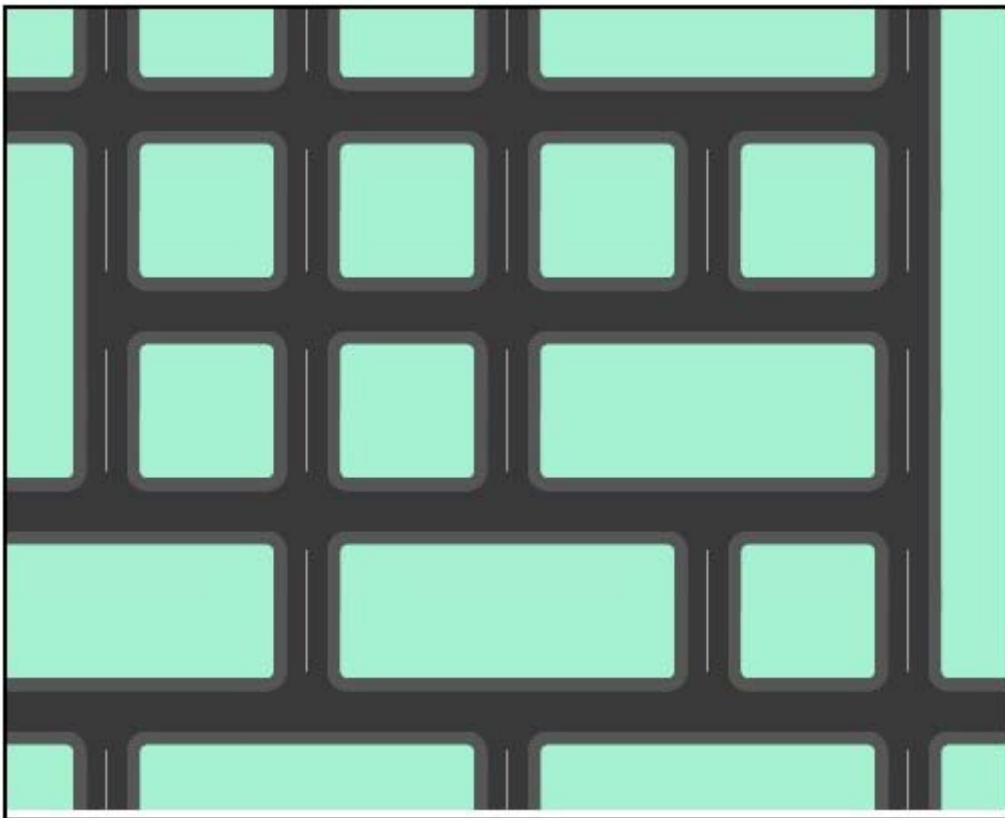


Рис. 2. Формирование схемы транспортной сети.

В настоящей версии программного комплекса рассматриваются только два вида перекрестков: X-образный перекресток и T-образный перекресток (рис. 3-4). В дальнейших версиях планируется нарастить возможности системы, добавив различные новые варианты дорожных развязок.



Рис. 3. Х-образный перекресток



Рис. 4. Т-образный перекресток



Рис.5. Задание полос по каждому из направлений.

По умолчанию, на любом из перекрестков задано по две полосы движения в каждом из направлений. Но пользователь может изменить количество полос в любую сторону (рис. 5), указав новые параметры перекрестка. Соответственно, изображение будет перестроено.

Здесь следует отметить, что изначально все направления перекрестка пронумерованы, как показано на рис. 5, что помогает при задании параметров, подготовке начальных данных и отображении результатов.

Следующим шагом в конфигурировании перекрестка является установка светофоров и задание режимов их работы.

## Режимы работы светофора

В текущей версии программного комплекса САМ-2D используются пять вариантов светофоров (рис. 6):

1. Нет светофора (0)
2. Светофор (S)
3. Светофор со стрелкой «поворот налево» (LS)
4. Светофор со стрелкой «поворот налево» (SR)
5. Светофор со стрелками «поворот налево и направо» (LSR)

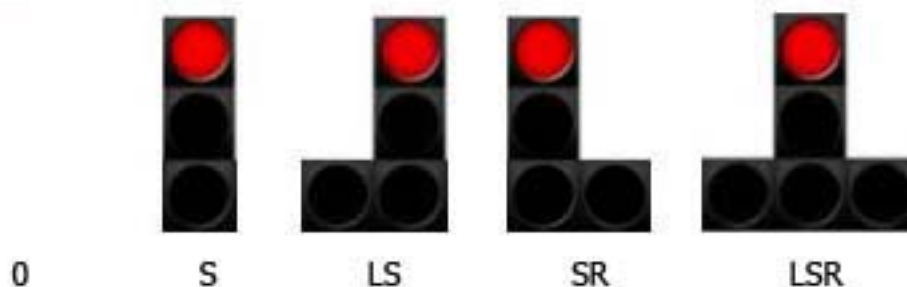


Рис.6. Варианты светофоров.

Предполагается, что в результате опытной эксплуатации текущей версии программного комплекса могут появиться другие варианты и возможности САМ-2D будут соответственно расширены.

У каждого варианта светофора задаются режимы работы. Режим работы – это временной интервал каждой светофорной фазы в секундах.

Последовательность включения светофорных режимов в текущей версии predetermined and does not change.

Используемые в текущей версии программного комплекса варианты светофоров описаны ниже:

1. «Нет светофора» имеет один единственный режим работы: 0.
2. Светофор (S) имеет два режима работы: «красный» и «зеленый» (рис. 7).



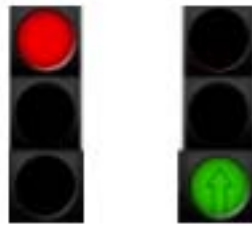


Рис.7.Режимы работы светофора (S).

3. Светофор со стрелкой «поворот налево» (LS) имеет четыре режима работы (рис. 8).

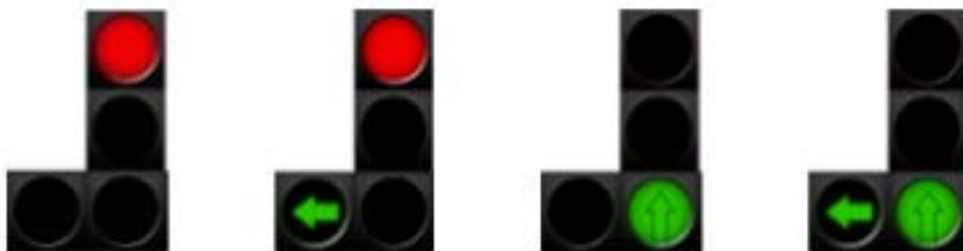


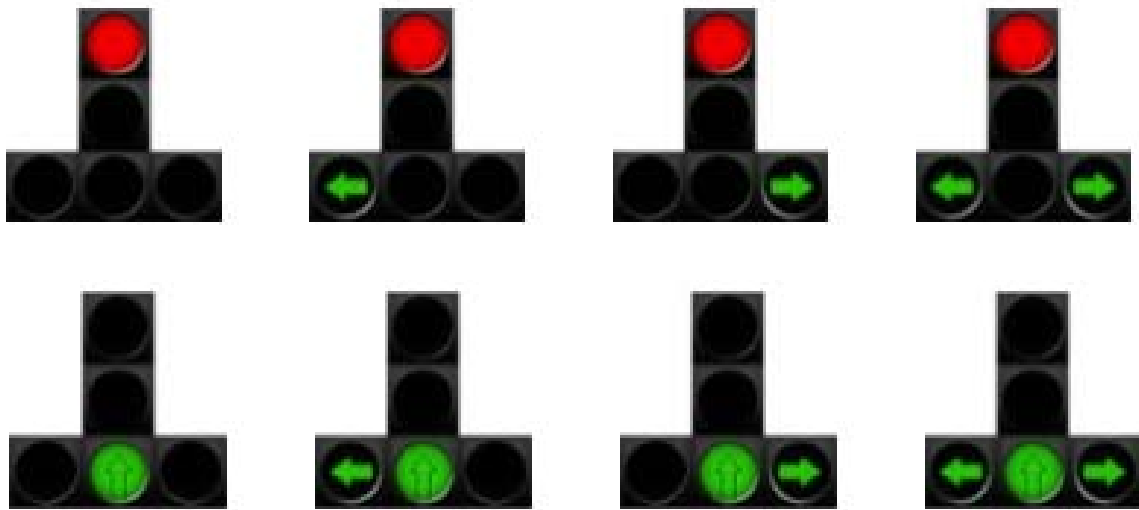
Рис.8.Режимы работы светофора со стрелкой «поворот налево» (LS).

4. Светофор со стрелкой «поворот направо» (SR) имеет четыре режима работы (рис. 9).



Рис.9.Режимы работы светофора со стрелкой «поворот направо» (SR).

6. Светофор со стрелками «поворот налево и направо» (LSR) имеет восемь режимов работы (рис. 10).



*Рис.10.* Режимы работы светофора со стрелками «поворот налево и направо» (LSR).

Расстановка светофоров осуществляется следующим образом.

На моделируемой транспортной схеме пользователь выбирает перекресток с помощью правой кнопки мыши, нажимает функциональную кнопку F4 и переходит в режим задания (редактирования) параметров выбранного перекрестка. Места установки светофоров определены заранее по каждому из направлений. Светофоры идентифицируются в системе так же, как и направления (см. рис. 5) – цифрами от 0 до 3. Система поочередно позиционирует маркер в одном из мест установки светофора и предлагает выбрать один из вариантов (см. рис.11). Варианты светофора перебираются последовательно, переход к следующему варианту осуществляется нажатием клавиши «пробел». Для изменения варианта светофора, установленного на конфигурируемом перекрестке, необходимо указать светофор с помощью правой кнопки мыши, а затем установить другой вариант, выбрав его из предлагаемых системой.



*Рис.11.* Установка светофоров на перекрестке.



Далее, указывая конкретный светофор на выбранном перекрестке, задав один из пяти вышеописанных вариантов, с помощью функциональной клавиши F4 пользователь может перейти в режим конфигурирования и может указать длительность работы каждой фазы, указав в поле ввода значение этого параметра в секундах (рис. 12). Перемещение между полями осуществляется с помощью клавиши табуляции («Tab»).



*Рис.12.* Задание длительности фаз работы светофора.

Кроме указания вышеперечисленных параметров перекрестка и режимов работы светофоров, пользователь может задать и другие параметры перекрестка, которые необходимы для моделирования исследуемого фрагмента транспортной сети (рис. 13):

- длина дороги – длина указывается в клетках (длина одной клетки составляет 7.5м, ширина соответствует стандартной ширине дорожной полосы). Для стандартного модуля принят размер 31 клетка, что равняется 232.5м и согласуется с расстоянием между перекрестками в типовой городской УДС;
- максимальная скорость автомобилей (в км/ч);
- вероятность из модели Нагеля-Шрекенберга – вероятность того, что водитель спонтанно снизит скорость.

 Длина дороги, клетки	<input style="width: 40px;" type="text" value="31"/>
 МАХ скорость автомобилей	<input style="width: 40px;" type="text" value="108"/>
<b>P</b> Вероятность в модели Нагеля-Шрекенберга	<input style="width: 40px;" type="text" value="0,2"/>

*Распределение входящих потоков  
по направлениям  
(число автомобилей в единицу времени)*

	Наверх [0]	Направо [3]	Вниз [1]	Влево [2]
Движение начинается сверху[1]	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="1"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="2"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="3"/>
Движение начинается справа[2]	<input style="width: 30px;" type="text" value="1"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="1"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="0"/>
Движение начинается снизу[0]	<input style="width: 30px;" type="text" value="2"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="3"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="1"/>
Движение начинается слева[3]	<input style="width: 30px;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="1"/>	<input style="width: 30px;" type="text" value="2"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>

Рис.13. Другие параметры перекрестка.

Далее задается распределение потоков по направлениям: на въезде на каждой дороге задаются три величины в соответствии с тремя возможными направлениями движения автомобилей на перекрестке – прямо, направо и налево. Иными словами, заполнив эту таблицу, мы определим, сколько автомобилей в минуту въезжает на каждую из дорог и сколько из них затем проедет перекресток прямо или повернет в ту или иную сторону. Например, последняя строка таблицы на рис. 13 означает, что во входном потоке на дорогу, идущую слева направо, наверх повернуть не собирается никто, прямо собирается ехать один автомобиль, вниз собираются повернуть два автомобиля.

Полностью описав параметры каждого из заданных в моделируемой схеме перекрестков, пользователь может сохранить ее (рис. 14) под некоторым уникальным именем. Впоследствии можно вернуться к заданию параметров,

изменив как всю схему в целом, так и отдельные параметры каждого из перекрестков.

## Схема перекрестка



Рис.14. Схема перекрестка.

## Численная реализация модели

После завершения всех этапов подготовки начальных данных для расчета пользователь может запустить непосредственно расчет. Все заданные параметры всех перекрестков моделируемого транспортного узла записываются в текстовый файл в специальном формате под уникальным именем. Такой способ подготовки начальных данных направлен прежде всего на возможность сопоставления одних и тех же схем перекрестков с разными параметрами.

## Вычисления

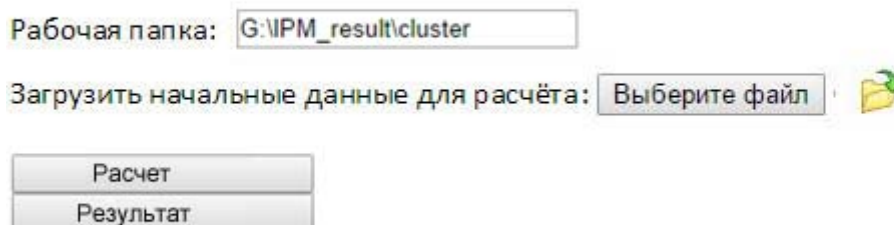


Рис. 15. Запуск расчета.

Текущая версия программного комплекса использует последовательный код вычислительного модуля, но в следующей версии планируется доработать вычислительные алгоритмы, адаптировав их к параллельным вычислительным

комплексам. Это позволит проводить расчеты на всех элементах УДС в параллельном режиме.

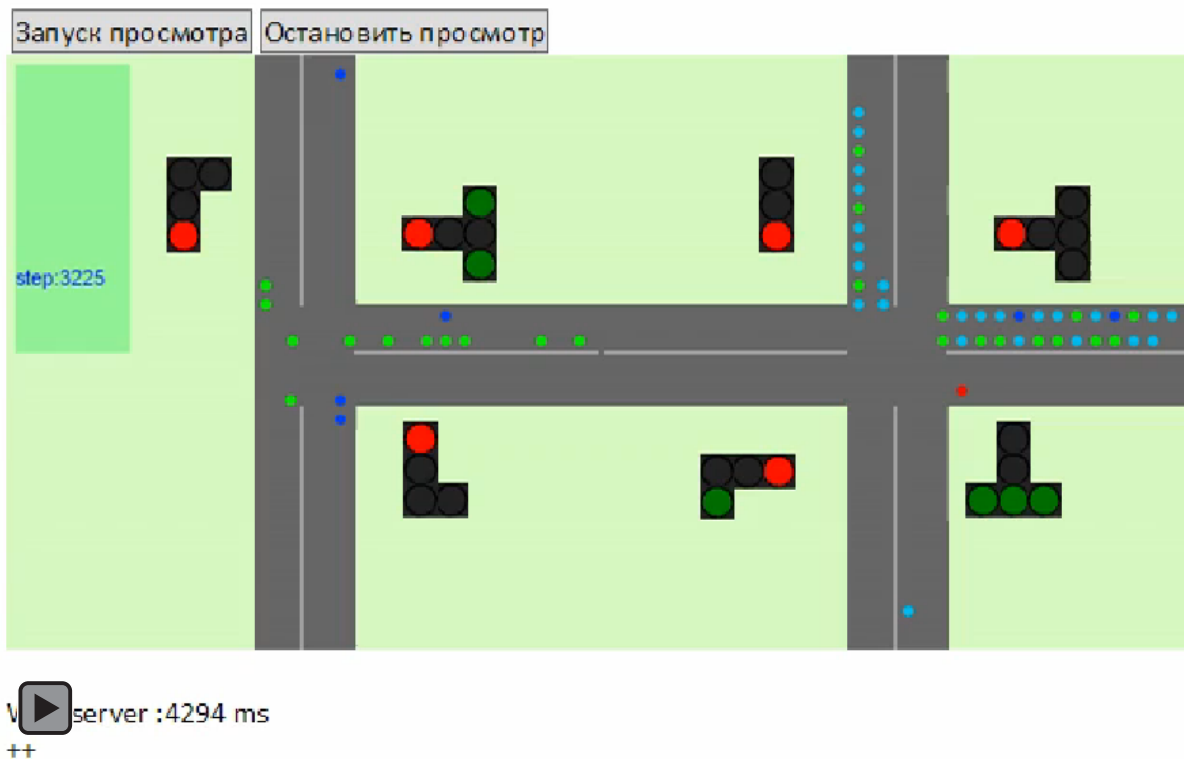
Расчет на персональном компьютере (Core-I7 4700 3,6 ГГц) системы из двух перекрестков (рис. 14) занимает чуть меньше одной минуты – это примерно 1000 шагов по времени. Каждый шаг – это изменение состояния системы в модели клеточных автоматов.

В текущей версии нельзя приостановить отображение результатов, поменять какие-то параметры (например, попытаться разгрузить «пробку», изменив режимы работы светофора) и запустить расчет с новыми параметрами, соответствующими текущей дорожной ситуации. Это ограничение программного комплекса планируется снять в следующей версии системы. Пока все расчеты начинаются «с нуля». В дальнейшем, если пользователь посчитает необходимым в процессе проведения вычислительного эксперимента изменить параметры перекрестка (например, режимы работы светофора), то он сможет это сделать, как описано выше, а затем продолжить расчет с новыми параметрами. При этом текущая дорожная ситуация (положение автомобилей) будет считана вычислительным модулем по принципу контрольной точки. Кроме того, ограничением текущей версии является отображение результатов только после полного завершения расчета. В следующей версии планируется ввести сохранение выходных данных через определенное, заданное заранее, число шагов по времени для возможности вести визуализацию параллельно с основным счетом.

## **Отображение результатов**

После завершения расчета программный комплекс САМ-2D позволяет представить результаты в виде мультимедийного ролика. Движение можно остановить (пауза), а затем продолжить (play) средствами медиаплеера или средствами программного комплекса («Запуск просмотра», «Остановить просмотр»). В текущей версии эти операции приводят к одинаковому результату. Однако в следующей версии программного комплекса планируется предоставить возможность пользователю остановить просмотр на каком-то этапе, поменять параметры перекрестка и возобновить расчет с новыми параметрами, как это описано в предыдущем разделе. Кроме того, планируется ввести инструменты отладки, позволяющие в заданный момент замедлить движение или перейти к пошаговому просмотру. При этом в отдельном окне будет отображаться необходимая отладочная информация.

## Отрисовка



*Рис.16.* Визуализация результатов моделирования

При визуализации результатов все транспортные средства отображаются кружочками одинаковой величины. Для удобства анализа результатов транспортные средства помечается разными цветами в зависимости от направления движения на перекрестке.

При моделировании более сложных дорожных схем может выполняться масштабирование (схема отображается целиком, но мелко — рис.17) или фрагментарное отображение результатов.

## Отрисовка



Рис.17. Масштабирование при графическом отображении результатов.

Запланированные для следующей версии отладочные инструменты будут позволять пометать одно или несколько транспортных средств для удобства наблюдения за их перемещениями по большой транспортной схеме.



## Заключение

В заключение следует отметить, что созданный программный комплекс САМ-2D предназначен для моделирования динамики автотранспортных потоков на участках УДС, обеспечивает удобство подготовки начальных данных и анализа результатов расчетов для текущей версии вычислительного модуля. Развитие программного комплекса будет прежде всего учитывать необходимость создания нового инструментария с точки зрения развития вычислительного модуля, усложнения исследуемых транспортных узлов (добавление нерегулируемых перекрестков, расширения-сужения дороги и т.д.), добавления новых инструментов для сопоставления результатов, полученных при расчетах одинаковых фрагментов дорожной сети с различными начальными данными, а также инструментов отладки.

Разработчиками также планируется создание интерфейсов с другими транспортными системами. На следующем этапе предполагается разработка механизмов обмена данными (импорта/экспорта) с другими программными комплексами (например, PTV Vision® VISUM).

## Список литературы

- [1] Nagel K., Schreckenberg M. A Cellular automaton model for freeway traffic // J. Phys. I France. – 1992. – V. 2. - P. 2221-2229
- [2] Трапезникова М.А., Фурманов И.Р., Чурбанова Н.Г., Липп Р. Моделирование многополосного движения автотранспорта на основе теории клеточных // Математическое моделирование. – 2011. – Т. 23, № 6. – С. 133-146.
- [3] Трапезникова М.А., Чечина А.А., Чурбанова Н.Г., Поляков Д.Б. Математическое моделирование потоков автотранспорта на основе макро- и микроскопических подходов // Вестник АГТУ Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика, 2014, №1, С. 130-139.
- [4] Трапезникова М.А., Чечина А.А., Чурбанова Н.Г. Описание динамики транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети с использованием двумерных математических моделей // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2016. № 93. 20 с. doi:10.20948/prepr-2016-93 URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2016-93>