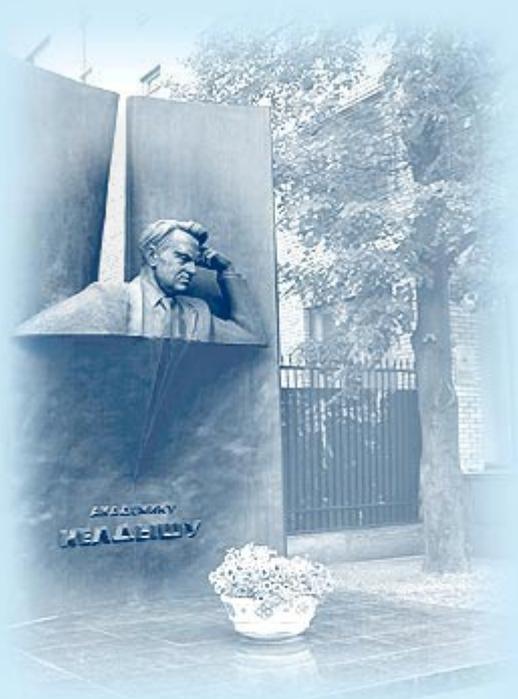




ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 80 за 2021 г.



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

М.С. Герман, А.В. Ермаков

**Новые функциональные
возможности системы
визуализации потоков
автотранспорта на
элементах улично-дорожной
сети**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Герман М.С., Ермаков А.В. Новые функциональные возможности системы визуализации потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2021. № 80. 16 с.
<https://doi.org/10.20948/prepr-2021-80>
<https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2021-80>

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

М.С. Герман, А.В. Ермаков

**Новые функциональные возможности
системы визуализации
потоков автотранспорта
на элементах улично-дорожной сети**

Москва — 2021

Герман М.С., Ермаков А.В.

Новые функциональные возможности системы визуализации потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети

Приводится описание новых функциональных возможностей программного комплекса САМ-2D. Опыт пятилетней эксплуатации потребовал внесения некоторых дополнений для более точного задания начальных данных при моделировании различных дорожно-транспортных ситуаций, а также для учета различных стратегий поведения водителей. Показаны дополнительные инструменты графического интерфейса, разработанные для удобства задания начальных данных моделируемого фрагмента транспортной сети и графического представления результатов.

Ключевые слова: архитектуры программного комплекса, автотранспортные потоки, задание начальных данных, графическое отображение результатов.

Mikhail Sergeevich German, Alexey Viktorovich Ermakov.

New functionality of the system of visualization of traffic flows on the elements of the road network.

A description of the new functionality of the CAM-2D software package is given. The experience of five years of operation required the introduction of some additions to more accurately set the initial data when modeling various road traffic situations, so as to take into account various strategies of driver behavior. Additional tools of the graphical interface are shown, developed for the convenience of specifying the initial data of the modeled fragment of the transport network and the graphical presentation of the results.

Key words: architecture of the software complex, vehicular traffic flows, initial data specification, graphical display of results.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Грант РФФИ № 20-07-00528.

Оглавление

Введение	3
1. Архитектура программного комплекса	4
2. Конструктор перекрёстков	6
3. Новые элементы транспортной сети	8
4. Задание светофоров	11
Заключение.....	13
Список литературы.....	13

Введение

В области микромоделей для описания динамики автотранспортных потоков заметное место занимают модели, основанные на теории клеточных автоматов, 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 [1]. 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 естественно понимать под пропускной способностью количество автомобилей, которые пересекли перекресток за некоторое контрольное время. Но интегральные характеристики не дают возможности проследить эволюцию транспортных потоков, что при исследовании процессов на транспортных развязках представляет иногда наибольший интерес. Современные графические методы предоставляют широкие возможности для наглядного изображения на экране движения автомобилей по элементам улично-дорожной сети (УДС) [2].

В работах [1, 2, 3] подробно изложено, как был разработан Программный комплекс для моделирования и визуализации потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети САМ-2D.

Опыт эксплуатации данного комплекса привел к внесению некоторых дополнений как на этапе задания начальных данных для моделирования, так и на этапе визуализации [4]. Кроме того, прикладными программистами были разработаны новые алгоритмы [5-9] прохождения различных участков дорожно-транспортной сети, а также были внесены в расчетную программу дополнения, связанные с учетом различных стратегий поведения водителей.

Данная работа посвящена описанию новых функциональных возможностей программного комплекса и дополнительных инструментов графического интерфейса, разработанных для удобства задания начальных данных моделируемого фрагмента транспортной сети и визуального представления результатов.

1. Архитектура программного комплекса

Результаты, полученные в процессе моделирования потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети, представляют набор текстовых данных на каждом шаге для всех элементов транспортной сети. Такой результат является сложным для восприятия. На наш взгляд, более удобным для анализа является графическое представление полученных результатов моделирования. Одним из наиболее привычных и широко используемых инструментов для графической визуализации является веб-интерфейс, что позволяет не привязываться к аппаратной платформе и операционной системе, на которой были сделаны вычисления.

Тот же веб-интерфейс используется и на этапе задания начальных данных для задачи вычислительного моделирования, а также для управления процессом вычисления.

Архитектура программного комплекса системы визуализации потоков автотранспорта[4] строится на трех базовых элементах (рис. 1):

- подсистемы подготовки и визуализации данных;
- подсистемы хранения данных;
- подсистемы вычисления.

Внесенные прикладными программистами изменения и дополнения алгоритмов вычислительного комплекса потребовали внесения некоторых изменений в архитектуру всего программного комплекса.

Как показано на рис.1, работа начинается с создания в конструкторе схемы дорожно-транспортной сети с указанием перекрестков и соответствующих параметров настройки. На основе заданной информации готовятся начальные параметры расчета и запускается процесс вычислений. На диаграмме (рис.1) i – номер рассчитываемого шага (вычисления и представление результатов не синхронизированы: например, может выполняться вычисление уже 100-го шага, а к визуализации готовится только 20-й).

Также следует отметить параметр X – минимальное число шагов, при котором не происходит запрос к подсистеме хранения. В идеале, чтобы не было задержек при показе анимации, этого числа шагов X должно хватить на время запроса и получения следующей партии шагов (результатов для визуализации). При этом N – статический коэффициент. Он связан с тем, что нужно иметь запас данных для отображения и не очень часто запрашивать данные у системы хранения. Если значение высокое, то данных хватит надолго, но сам объем данных при передаче станет большим, больше оперативной памяти потребуется для хранения, дольше ждать начала визуализации после старта вычислений. Если значение небольшое, то данные будут быстрее передаваться подсистеме визуализации, но и чаще запрашиваться. Оптимальное значение указанных параметров зависит от технических характеристик используемого вычислительного оборудования.

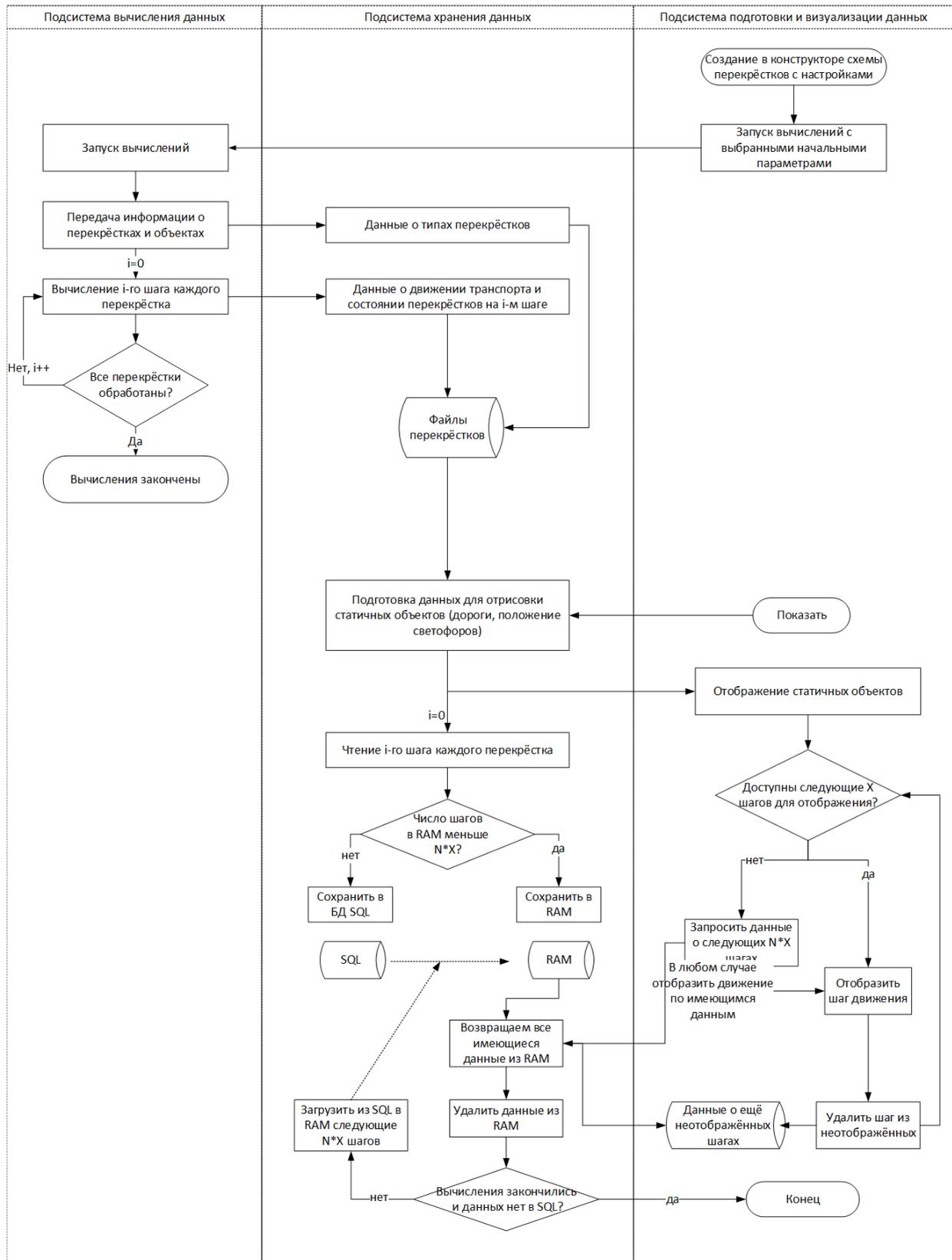


Рис.1. Общая архитектура программного комплекса.

Чтобы отобразить результаты расчётов, в подсистему визуализации передаётся различная информация об объектах перекрёстка, их типах,

координатах. При визуализации данных на каждом шаге необходимо убрать отрисованные ранее объекты и отобразить новые полученные данные. Чтобы уменьшить объём передаваемой информации, данные поделены на статические (те, что не меняются до окончания вычисления всей модели дорожно-транспортной сети) и динамические (данные этих объектов могут изменять свои параметры). К статическим можно отнести, например, тип перекрёстка, число перекрёстков, число полос. Такие данные можно передать от подсистемы хранения в подсистему визуализации один раз в начале отрисовки результатов.

Динамические данные, такие как координаты автомобилей, их направление движения, сигнал светофора, могут меняться на каждом шаге и требуют постоянного обновления информации с сервера для корректной визуализации. Такое разделение данных позволяет уменьшить объём информационного трафика на каждом шаге.

2. Конструктор перекрёстков

Данные, необходимые для запуска расчётов, в том числе статические, задаются в виде параметров расчета. С увеличением числа перекрёстков и их типов создание начальных данных становится сложной задачей. Для упрощения этапа задания начальных данных был разработан конструктор перекрёстков.

Конструктор состоит из трёх областей:

1. Визуальное отображение множества типов перекрёстка;
2. Начальные размеры поля конструктора перекрёстков;
3. Настройки выделенного перекрёстка.

Визуальное отображение перекрёстка позволяет пользователю с помощью клавиш клавиатуры «W», «A», «S», «D» перемещать по полю курсор (в виде зелёного квадрата). Достигнув нужной позиции, с помощью клавиши «Enter» можно выбрать один из предлагаемых типов перекрёстков. Выбранный перекрёсток можно настроить, задав число полос в каждом направлении. В случае если выбранный размер поля необходимо изменить, то можно это сделать, выбрав размер в пикселях по оси X и Y.

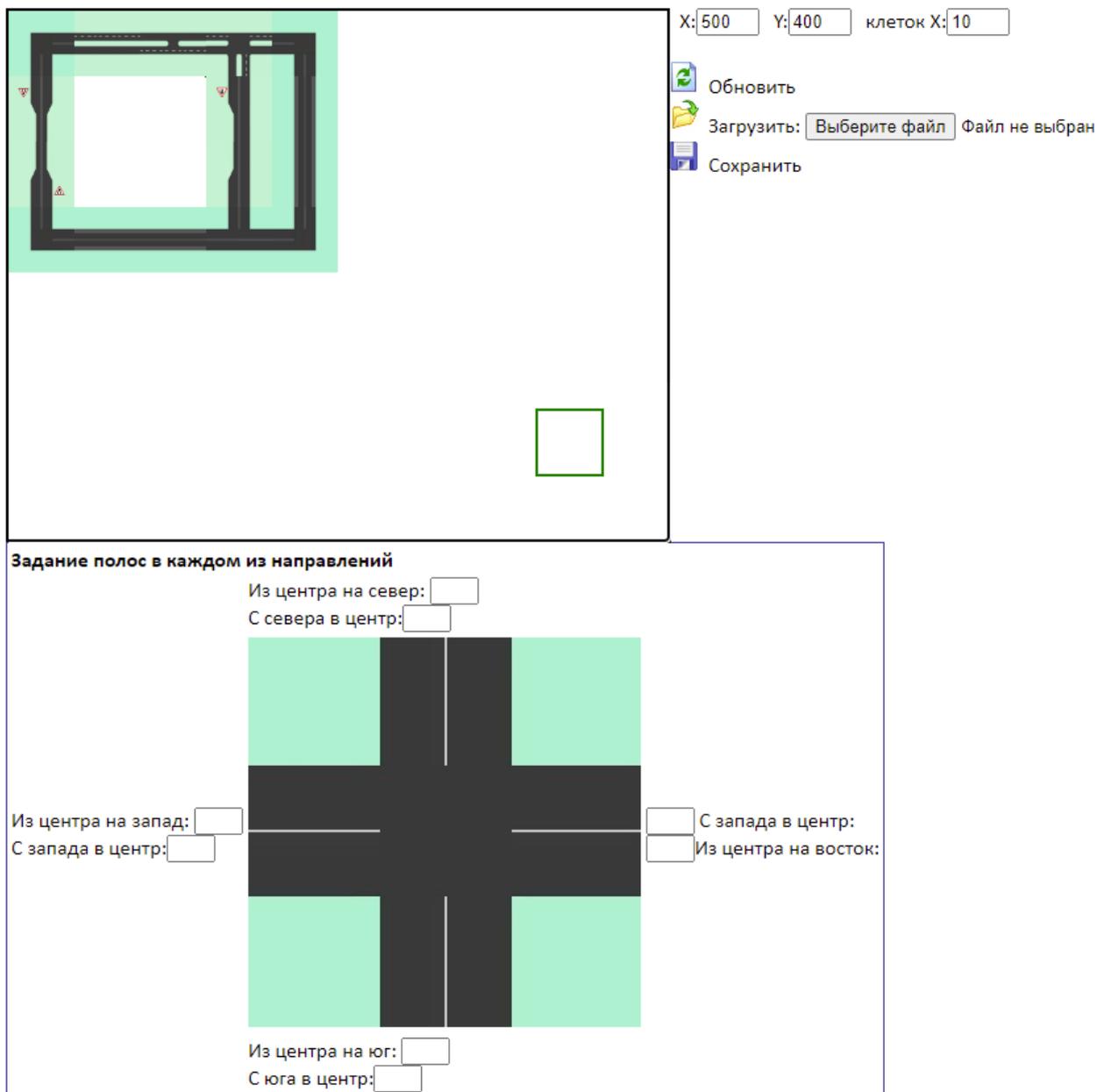


Рис.2. Конструктор перекрёстков.

Также можно задать число перекрёстков по оси X - число перекрёстков по оси Y будет рассчитано автоматически). В случае, если ввести по одной из осей размер поля в пикселях, не кратный числу перекрёстков, размер в пикселях будет автоматически скорректирован. Такой подход позволяет не только задавать размер отображаемых перекрёстков в пикселях, но и число перекрёстков (рис. 3 и рис. 4).

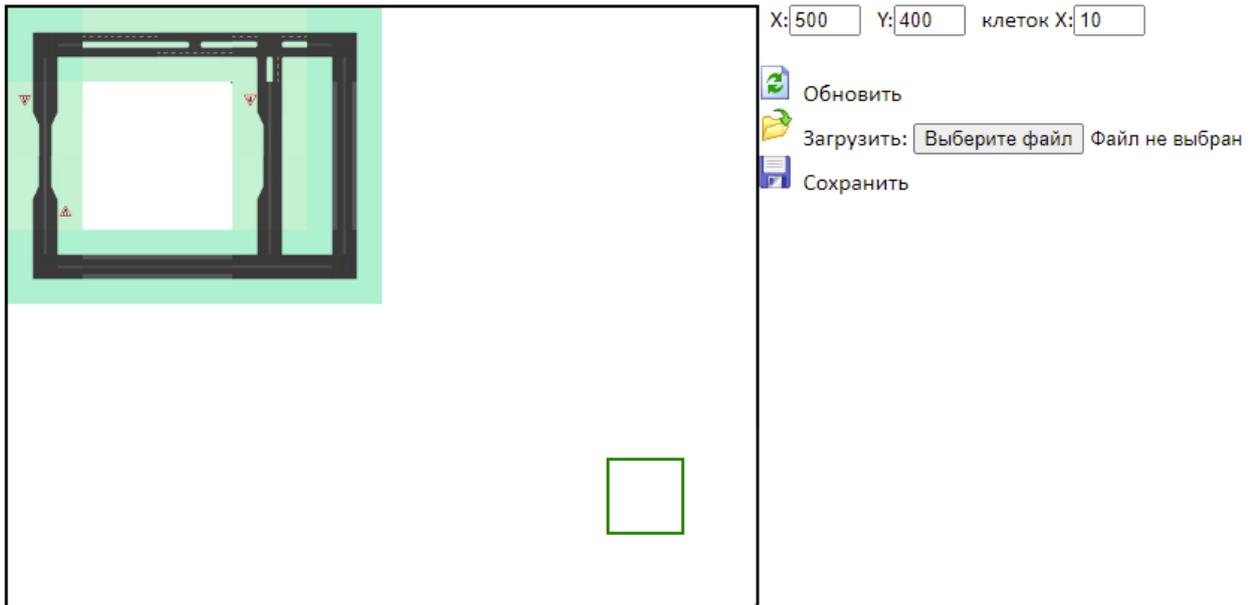


Рис.3. Схема дорожно-транспортной сети 10x8 перекрёстков (500px на 400px).

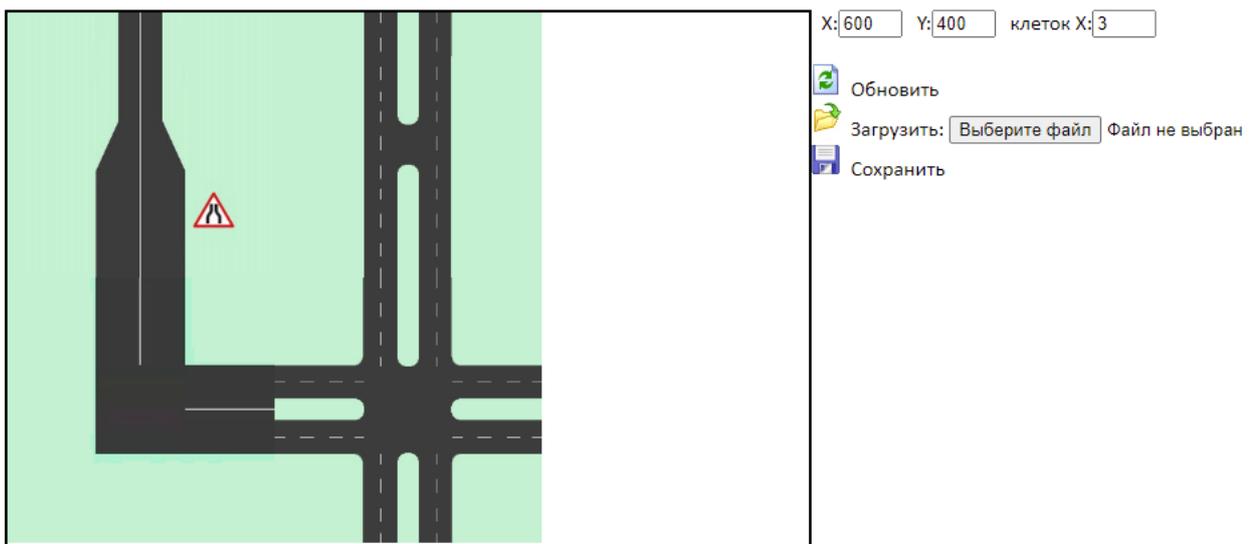


Рис.4. Схема дорожно-транспортной сети 3x2 перекрёстков (600px на 400px).

Для удобства пользователя добавлена функция сохранения выбранной схемы перекрёстков с возможностью её последующей загрузки в конструктор.

3. Новые элементы транспортной сети

В процессе развития программного комплекса одной из основных задач стала минимизация различий между результатами модели и её проекции на реальные объекты. С этой целью были добавлены новые виды перекрёстков и логика отображения поведения объектов. В настоящий момент для конструирования модели участка дорожно-транспортной сети пользователю доступно 40 элементов.

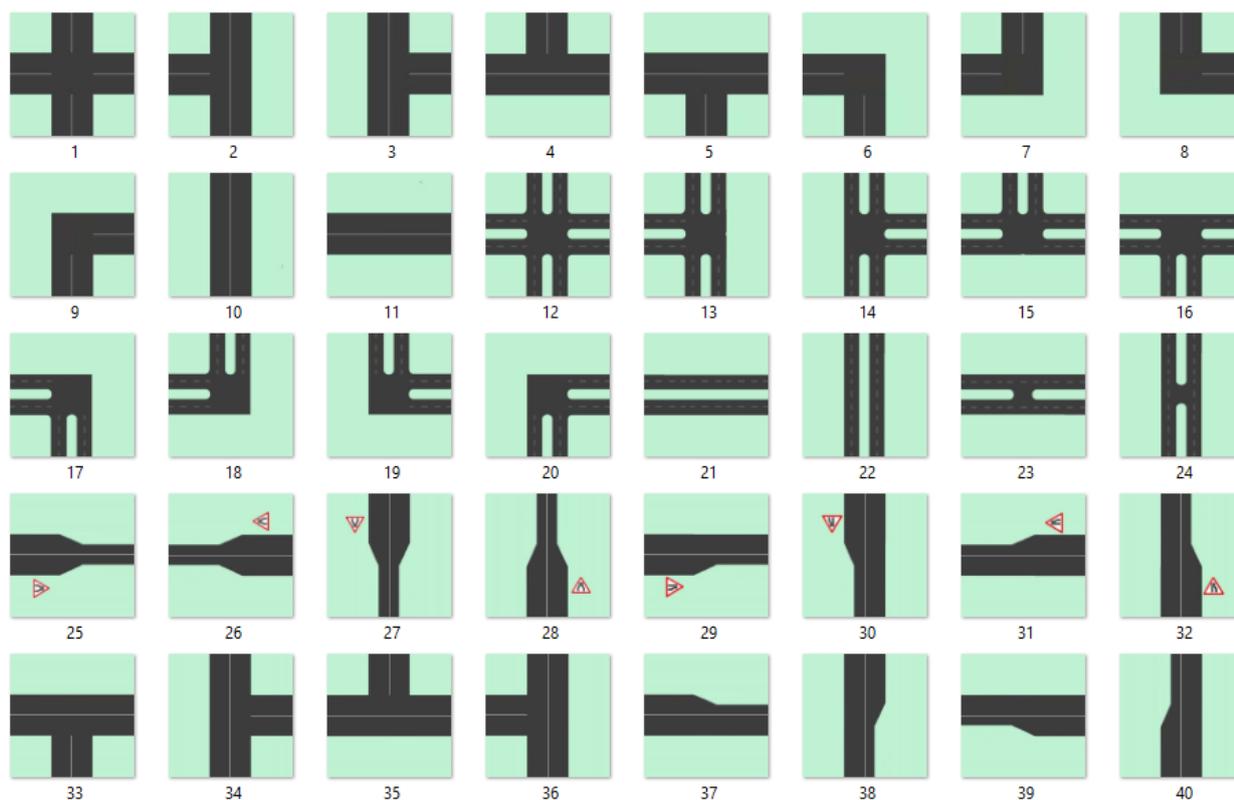


Рис.5. Элементы дорожно-транспортной сети.

Особенности прохождения каждого из этих элементов заложены в вычислительном модуле. На некоторых добавленных элементах мы остановимся чуть подробнее.

3.1. Прохождение участка с сужением/расширением

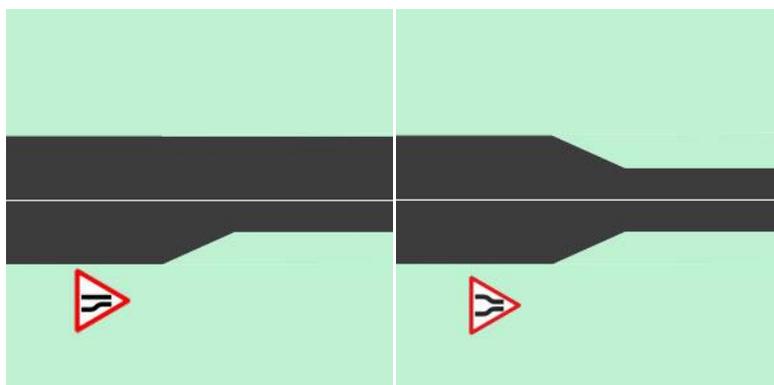


Рис.6. Участки с одно- и двухсторонним сужением/расширением.

Алгоритм прохождения участков с сужением или расширением заложен в вычислительном модуле. Подсистема подготовки данных должна передать

соответствующую информацию о данном фрагменте транспортной сети в расчетную программу.

Подсистема визуализации должна получить соответствующую информацию о моделируемом фрагменте транспортной сети из расчетной программы и отобразить ее графически.

3.2. Въезд с второстепенной дороги на главную

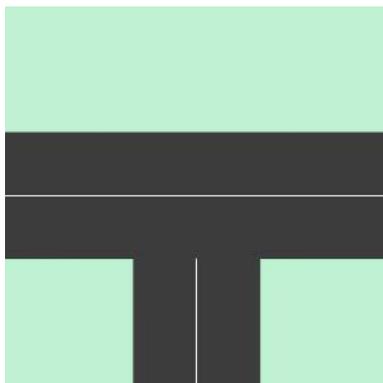


Рис. 7. Въезд с второстепенной дороги на главную.

Алгоритм въезда с второстепенной дороги на главную реализован в вычислительном модуле. Он похож на прохождение Т-образного перекрестка, но часть главной дороги в указанном алгоритме заблокирована для выезжающего с второстепенной дороги транспорта.

3.3. Проезд участка с разворотом

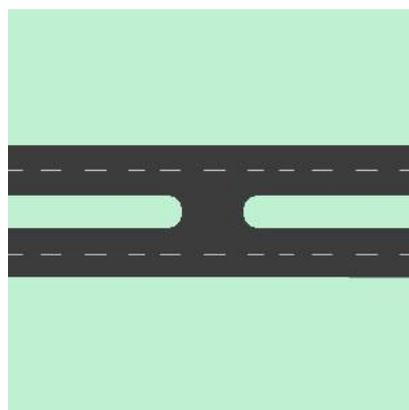


Рис. 8. Участок транспортной сети с разворотом.

На рис. 8 показан участок транспортной сети с разворотом. Длина полосы для разворота может быть любой, в том числе и равной нулю. С точки зрения вычислительной реализации здесь используется комбинация алгоритмов выезда и въезда с второстепенной дороги на главную.

3.4. Проезд участка с пешеходным светофором

Для указания направления движения по любому элементу дорожно-транспортной сети используется «географическая» ориентация – «север», «запад», «юг», «восток».

Для задания пешеходного перехода на любом из элементов также использовали эти направления, а также добавили положение «по центру» для прямого участка сети.

Для участка дороги с добавлением свойства «пешеходный переход по центру» тип дороги остаётся неизменным, но появляется «зебра» (рис. 9)

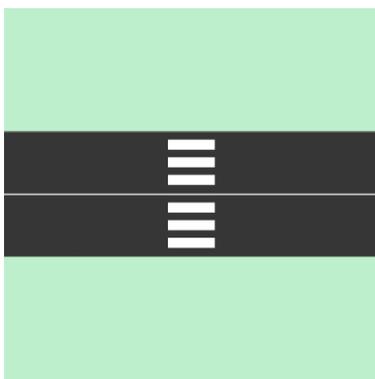


Рис. 9. Участок дороги с пешеходным переходом по центру.

Для участков дорог с перекрёстком указать пешеходный переход по центру нельзя, можно только «север», «юг», «запад», «восток» (рис.6). Диагональные пешеходные переходы в данной модели пока не рассматриваются.

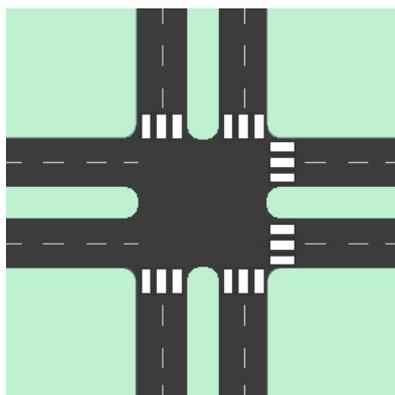


Рис.10. Пешеходные переходы на перекрёстках.

4. Задание светофоров

Каждый тип светофора имеет набор режимов работы, все режимы принимают значения от 0 до 17, нумерация сквозная (желтый сигнал светофора в данной модели не используется). Поэтому режим работы однозначно

соответствует определенному типу. Но нам требуется обозначить как типы, так и режимы, поскольку типы используются для первоначальной отрисовки расчетной области.

Задание типов светофоров выглядит следующим образом. Существует 5 типов светофоров (рисунок 11): без стрелок (S), со стрелкой налево (LS), со стрелкой направо (SR), с двумя стрелками направо и налево (обозначим его LSR) и режим отсутствия светофора.

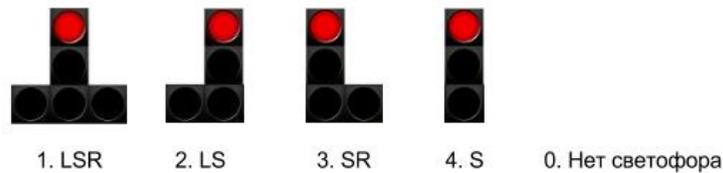


Рис. 11. Типы светофоров

Нумерация режимов представлена на рисунках 12-16.

Тип светофора 0 (нет светофора) имеет режим работы 00.

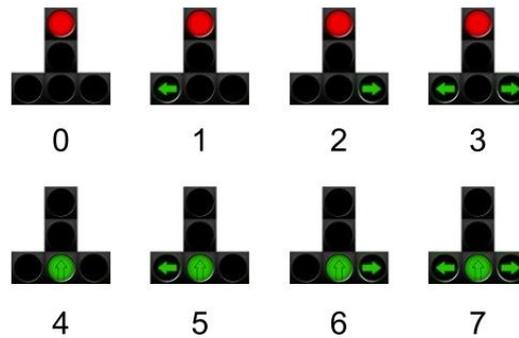


Рис. 12. Режимы работы LSR

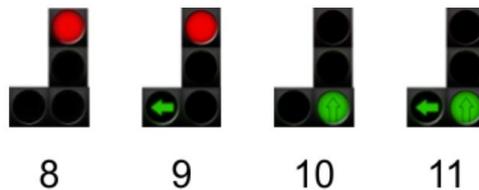


Рис. 13. Режимы работы LS

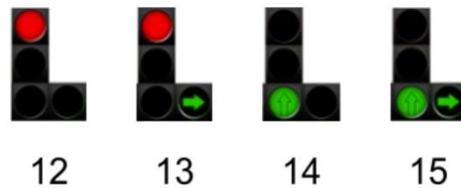


Рис. 14. Режимы работы SR

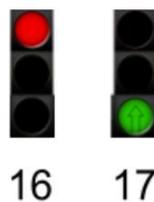


Рис. 15. Режимы работы S



Рис. 16. Режимы «Пешеходных светофоров»

Заключение

В связи с развитием вычислительных мощностей компьютерных систем (в том числе, вычислительных систем ИПМ им. М.В.Келдыша РАН [10]) появилась возможность моделировать транспортные потоки с учетом большого числа характеристик транспортных средств, что позволяет точнее воспроизводить реальные наблюдаемые закономерности дорожного движения. Прикладными программистами была разработана «параллельная» версия вычислительной программы. Соответственно, в результате моделирования появляется еще больший поток данных, обработка которых невозможна без специальных графических инструментов.

В течение нескольких лет эксплуатации данного программного комплекса авторы получили от пользователей значительное количество замечаний и предложений по развитию, большая часть которых отражена в описываемой версии системы. Определенным успехом работ по развитию данного программного комплекса можно считать разработку и отладку новых алгоритмов перестроения автомобилей [7-10].

Список литературы

1. Трапезникова М.А., Чечина А.А., Чурбанова Н.Г. Двумерная модель клеточных автоматов для описания динамики транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети // Математическое моделирование, 2017, том 19, номер 9. С. 110-120
2. 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.
3. 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 // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2016. № 124. 17 с.
<https://doi.org/10.20948/prepr-2016-124>
4. Герман М.С., Ермаков А.В. Архитектура и функциональные возможности системы визуализации потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 145. 21 с.

- <https://doi.org/10.20948/prepr-2017-145>
5. Трапезникова М.А., Чечина А.А., Чурбанова Н.Г. Двумерная модель клеточных автоматов для описания динамики транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети // Математическое моделирование. 2017. т. 19 № 9 С. 110-120.
<https://doi.org/10.20948/mm-2021-01-02>
 6. Чечина А.А. Новые алгоритмы перестроения автомобилей для микроскопической модели транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2017. № 136 14с.
<https://doi.org/10.20948/prepr-2017-136>
 7. Чечина А.А. Воспроизведение экспериментальных пространственно-временных структур в транспортных потоках при помощи математической модели на основе теории клеточных автоматов // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 236. 16 с.
<https://doi.org/10.20948/prepr-2018-236>
 8. Чечина А.А., Чурбанова Н.Г., Трапезникова М.А.. Сравнение воспроизведения пространственно-временных структур транспортных потоков при использовании различных способов осреднения данных // Математическое моделирование. 2021. т. 33(1) С. 25-31.
<https://doi.org/10.20948/mm-2021-01-02>
 9. Чечина А.А. Алгоритмы поведения водителей на нерегулируемых перекрестках с приоритетом и при объезде препятствий // Математическое моделирование. 2021.т. 33(9) С. 47-59.
<https://doi.org/10.20948/mm-2021-09-04>
 10. Гибридный вычислительный кластер К-100.
<https://www.kiam.ru/MVS/resources/k100.html>