

ФОРМАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Запропонована формалізація алгоритму моделювання руху автомобільного дорожнього транспорту, зокрема, увага приділяється формалізації алгоритмів обгону та перестроєння із використанням мереж Петрі. Наводиться мережа Петрі, яка описує стани автомобільного засобу, переходи між станами, та описує умови, які повинні виконуватися для спрацьовування переходів.

The formalization of simulation algorithm for traffic control of vehicles is offered, specifically, the formalization of overtaking and re-formation algorithms are given consideration using Petri's network. The transition and nodes of Petri net for vehicle and conditions by fulfillment which it moves from one state to another are described.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

В Украине с увеличением количества машин на дорогах во многих городах возникла транспортная проблема. Для принятия решений, улучшающих сложившуюся транспортную ситуацию, необходимо разработать систему управления транспортными потоками, составной частью которой должна быть имитационная модель для моделирования поведения транспорта. С научной точки зрения важность разработки данной системы состоит в разработке оптимальных алгоритмов моделирования, с практической – улучшение ситуации на дорогах и решение транспортной проблемы.

Одним из этапов создания ядра системы моделирования автомобильного дорожного движения, является разработка алгоритма передвижения автомобиля по дороге с учетом дорожной ситуации. Данная статья предлагает формализацию данного алгоритма при помощи сетей Петри. Сети Петри являются одной из наиболее удобных математических конструкций представления сложных моделей событий. С помощью сетей Петри достаточно легко задать модель практически любой реально существующей системы, что способствует ее широкому распространению. Высокая формализация сетей Петри позволяет легко строить программные алгоритмы для их обработки. Сети Петри – это удобный инструмент для анализа и описания асинхронных, параллельных и распределенных систем. Как математический инструмент их можно использовать для описания уравнений состояний, алге-

браических уравнений и других математических моделей, которые управляют поведением системы. Кроме того, сети Петри удобно использовать для анализа и автоматического построения программ имитационных моделей.

Формально сеть определяется тройкой [1]:

$$G = \langle P, T, F \rangle, \quad (1)$$

где:

- P – не пустое множество элементов сети, называемых состояниями;
- T – не пустое множество элементов сети, называемых переходами;
- F – функция инцидентности, которая задает связь между элементами P и T .
- Для сети G должны выполняться условия:
 - $P \cap T = \emptyset$, то есть множества состояний и переходов не пересекаются;
 - $(F \neq \emptyset) \wedge (\forall x \in P \cup T, \exists y \in P \cup T : xFy \vee yFx)$, то есть любой элемент сети инцидентный по крайней мере одному элементу другого типа;
 - если для любого элемента сети $x \in X$ (X – множество всех элементов сети) обозначить через $*x$ множество входящих в него элементов, а через x^* – множество выходящих из него элементов, то:

$$\forall p_1, p_2 \in P : (*p_1 = *p_2) \wedge (p_1^* = p_2^*) \Rightarrow (p_1 = p_2), \quad (2)$$

то есть сеть не содержит таких пар состояний, которые инцидентны тому же самому множеству переходов.

На основании понятия сети, которая описывает только статическую топологию моделируемого процесса или системы, вводятся динамические сетевые структуры, в которых событиям приписывают специальные размет-

ки для моделирования выполнения условий. Функционирование сети – это смена разметок (условий) в результате переключения переходов. К таким динамическим сетям относятся сети Петри. Сеть Петри не является динамической моделью, в которой состояние модели изменяется во времени, а оно изменяется только при срабатывании переходов и смене разметки.

Сеть Петри – это набор [1]:

$$G^p = \langle G, M^0 \rangle, \quad (3)$$

где G – конечная сеть (множества P и T конечны); M^0 – функция начальной разметки сети, которая ставит в соответствие любому состоянию $p_i \in P$ некоторое число $M^0(p) = n$.

Функционирование сети Петри описывается формально с помощью множества последовательностей срабатываний и множества достигаемых в сети разметок. Эти понятия определяются через правила переключения переходов в сети.

Разметка сети G_p является функцией $M: P \Rightarrow N$ (N – множество натуральных чисел). Если допустить, что все состояния сети строго упорядочены некоторым образом, то есть $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, то разметку M сети (в том числе и начальную разметку) можно задать как вектор чисел $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ такой, что для любого i , ($1 \leq i \leq n$):

$$m_i = M(p_i), \quad (4)$$

Анализ последних исследований и публикаций, в которых отражено начало процесса решения данной проблемы

В связи с интенсивным развитием автомобильного движения в нашей стране возникает задача увеличения пропускной способности дорог. Такое увеличение может быть достигнуто благодаря увеличению полос для движения (расширение дороги) или за счет увеличения средней скорости движения на участке дороги. Второй способ связан с анализом дорожного движения на некотором участке дороги и постепенным устранением «узких мест», которые влияют на снижение средней скорости движения. Основой системы моделирования автомобильного дорожного движения (СМАДД) является математическая модель для прогнозирования интенсивностей транспортных потоков в городских сетях с использованием систем массового обслуживания. СМАДД предназначена для определе-

ния оптимальных маршрутов движения, нахождения объездных путей в случае возникновения аварийных ситуаций на маршруте следования или наличии определенных ограничений для проезда транспорта, расчета пропускной способности дорог с целью обнаружения и устранения узких мест [2].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которой посвящена статья

Существует множество алгоритмов моделирования движения автомобильного дорожного транспорта. Практически все они описаны в виде математических моделей, в которых присутствуют множество параметров, систем уравнений. Однако, главным преимуществом в формализации алгоритма движения при помощи сетей Петри является удобство их использования для анализа и автоматического построения программ имитационных моделей. Также, сети Петри наглядно представляют систему моделирования, что в свою очередь облегчает восприятие всех процессов, протекающих внутри моделируемой системы.

Постановка задачи

Формализация алгоритма моделирования движения автомобильного дорожного транспорта при помощи сетей Петри. Алгоритм движения автомобилей включает в себя:

- алгоритм обычного движения;
- алгоритм выполнения маневра перестроения;
- алгоритм выполнения маневра обгона.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов

Проведем формализацию алгоритма перемещения автомобильного дорожного транспорта с применением сетей Петри. Следует начать с определения ситуаций, которые происходят с автомобилем на дороге. Автомобиль может совершать разные маневры на дороге:

- изменение полосы следования автомобиля (перестроение);
- совершение маневра обгона другого транспортного средства;
- обычное движение по своей полосе.

На рисунке 1 представлена сеть Петри для этих вариантов:

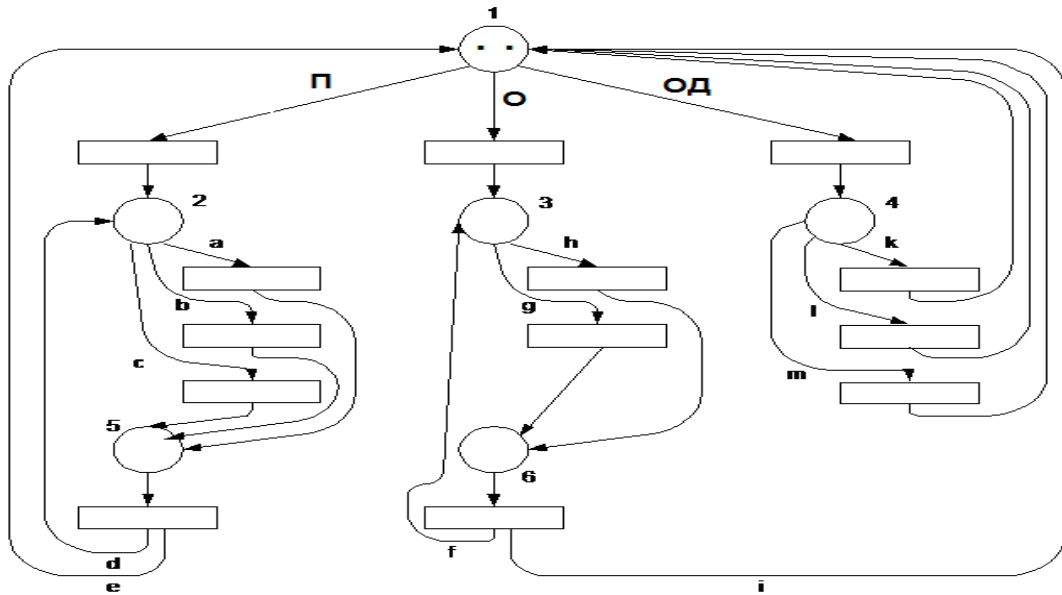


Рис. 1. Представление возможных состояний автомобиля

Опишем согласно формуле (1) множество состояний $P = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ нашей сети (см. рис. 1):

- 1 – это начальное состояние – в этом состоянии сеть находится, когда автомобиль начинает обычное движение;
- 2 – это начало выполнения маневра перестроения с одной полосы на другую;
- 3 – это начало выполнения маневра обгона;
- 4 – это продолжение движения без выполнения каких-либо маневров;
- 5 – это завершение выполнения маневра перестроения с одной полосы на другую;
- 6 – это завершение выполнения маневра обгона.

Множество переходов $T = \{П, О, ОД, a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l, m\}$, где *П* – перестроение, *О* – обгон, *ОД* – обычное движение. Остальные переходы опишем при рассмотрении конкретно ситуаций перестроения, обгона и обычного движения.

Начальная разметка для данной сети $M^0 = [2, 0, 0, 0, 0, 0]$. На этом этапе автомобиль может выбрать одно из трех состояний: совершение маневра перестроения, обгона или продолжать обычное движение. Рассмотрим все возможные переходы системы:

1) **Активизация перехода П.** В этом случае мы имеем новую разметку $M^1 = [1, 1, 0, 0, 0, 0]$, которая представлена на рис. 2:

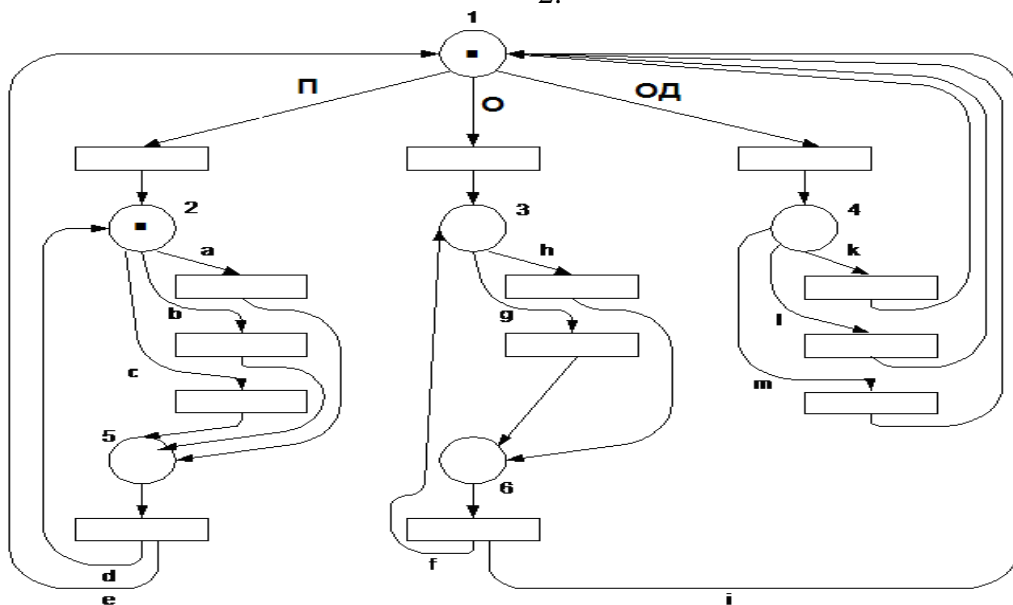


Рис. 2. Разметка M^1

Теперь могут быть активизированы переходы a, b, c, которые связаны с ускорением ав-

томобиля. Переход a активизирует процесс разгона, b – процесс торможения, c – движе-

ние с постоянной скоростью (без ускорения). После срабатывания любого из переходов

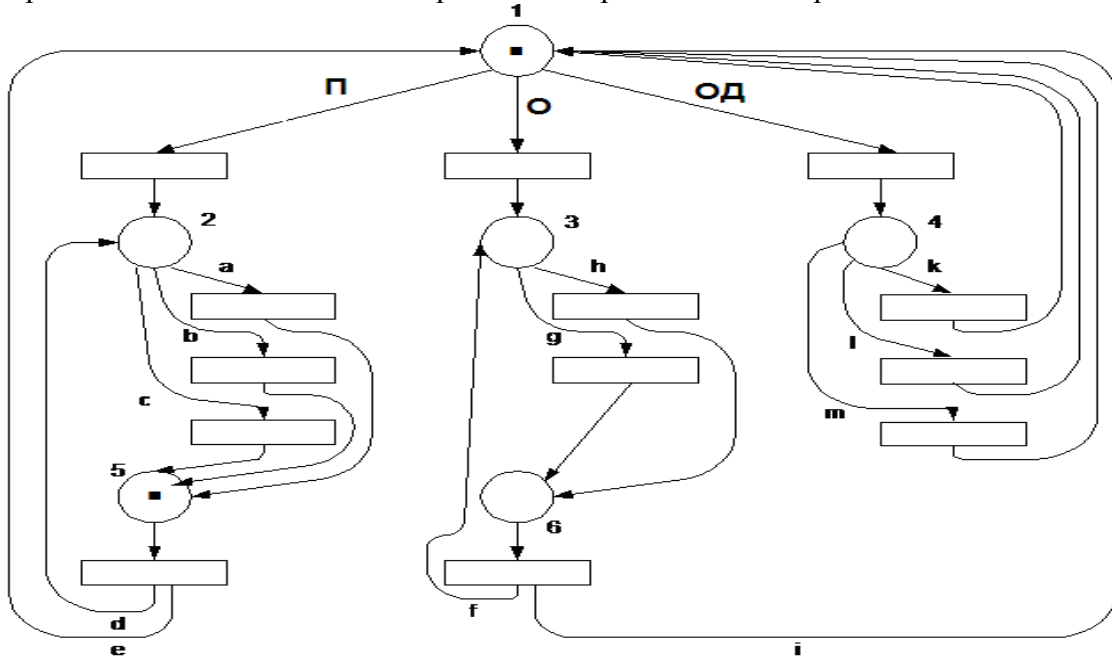


Рис. 3. Разметка M^2

Теперь активными являются переходы d – продолжение процесса перестроения, и e – переход в начальное состояние. При этом мы получаем в результате срабатывания перехода d разметку $M^1=[1,1,0,0,0,0]$ (см. рис. 2), а в результате срабатывания перехода e – разметку $M^0=[2,0,0,0,0,0]$ (см. рис. 1).
 2) **Активизация перехода O .** В этом случае мы имеем новую разметку $M^3=[1,0,1,0,0,0]$, которая представлена на рис. 4:

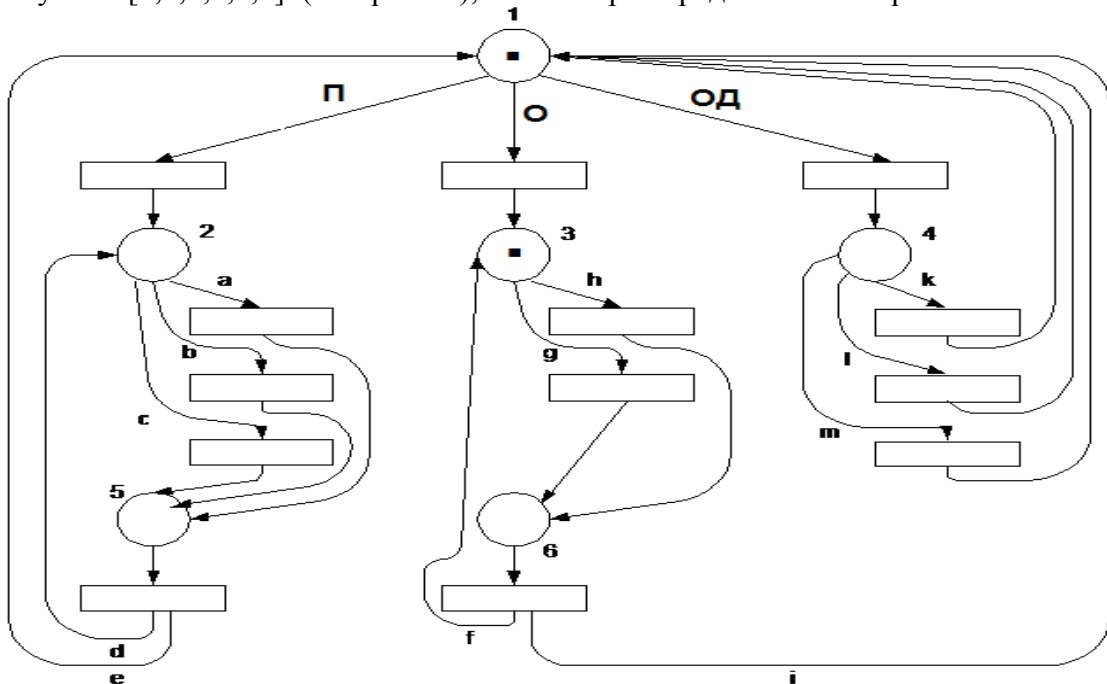


Рис. 4. Разметка M^3

Из полученного состояния быть активизированы переходы g, h , которые связаны с ускорением автомобиля. Переход g активизирует процесс разгона, h – движение с постоянной скоростью (без ускорения). При совершении обгона, разумеется, не возможно состояние, соответствующее процессу торможения автомобиля. После срабатывания любого из переходов g, h имеем разметку $M^4=[1,0,0,0,0,1]$, которая представлена на рис. 5:

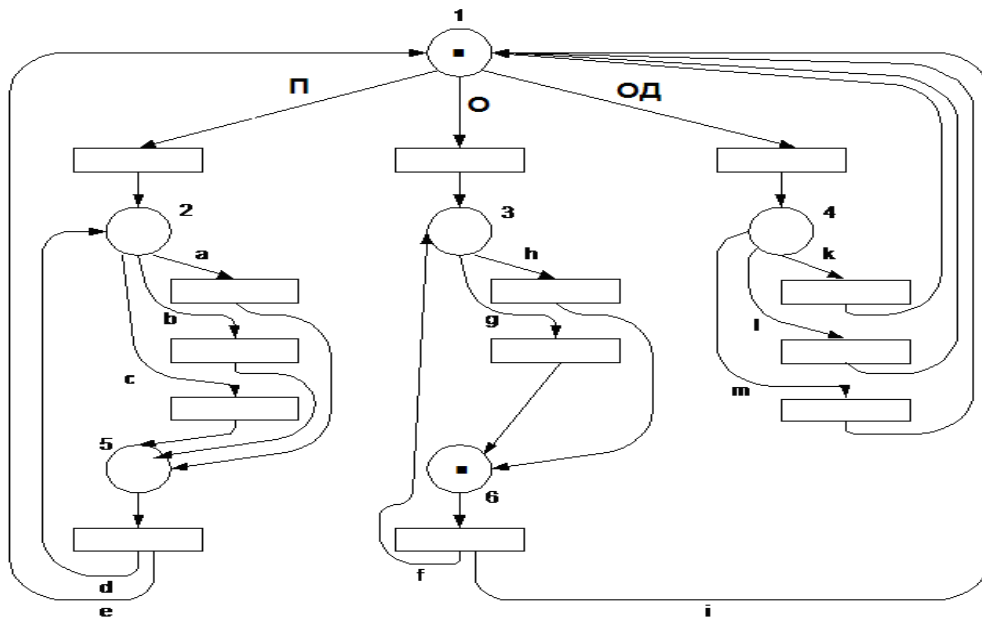


Рис. 5. Разметка M^4

Теперь активными являются переходы f – продолжение процесса обгона, и i – переход в начальное состояние. При этом мы получаем в результате срабатывания перехода f разметку $M^3=[1,0,1,0,0,0]$ (см. рис. 4), а в результате

срабатывания перехода i – разметку $M^0=[2,0,0,0,0,0]$ (см. рис. 1).

3) **Активизация перехода ОД.** В этом случае мы имеем новую разметку $M^5 = [1,0,0,1,0,0]$, которая представлена на рис. 6:

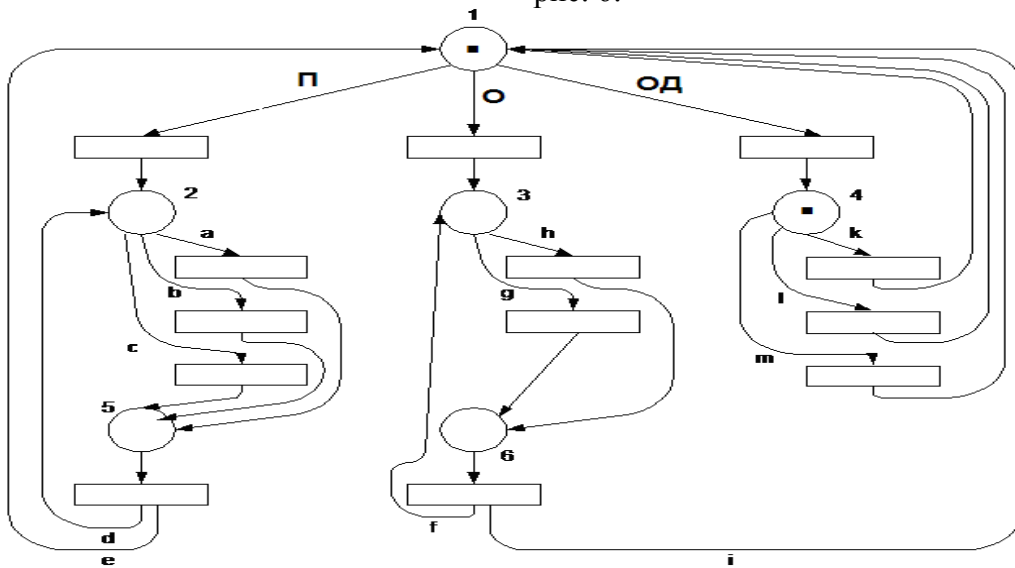


Рис. 6. Разметка M^5

В этом состоянии могут быть активизированы переходы k,l,m, которые связаны с ускорением автомобиля. Переход k активизирует процесс разгона, l – процесс торможения, m – движение с постоянной скоростью (без ускорения). После срабатывания любого из переходов k,l,m имеем разметку $M^0=[2,0,0,0,0,0]$ (см. рис. 1).

Следует отметить, данная сеть описывает только возможные состояния автомобиля, и не учитывает конфигурацию дороги, а также взаимодействие с другими транспортными сред-

ствами. Алгоритмы выполнения маневра перестроения и обгона для системы, состоящей из более чем одного транспортного средства, приведены далее:

Алгоритм перестроения

- 1) Проверка возможности перестроения на желаемую полосу дороги. Для этого необходимо выполнение всех следующих условий:
 - выполнение маневра не мешает движению остального транспорта;
 - отсутствует знак о запрете перестроения;

Если возможность есть, то переходим на пункт 2, иначе – конец алгоритма.

2) Проверка того, что автомобиль, совершающий маневр перестроения, окажется на свободном месте полосы дороги, на которую перестраивается. Если результат положительный, то переход на пункт 3, иначе – конец алгоритма.

3) Проверка того, что после завершения автомобилем маневра перестроения расстояние между ним и автомобилями, которые едут за ним и перед ним, будет соответствовать нормам, описанным в правилах дорожного движения. Если результат положительный, то переход на пункт 4, иначе – конец алгоритма.

4) Проверка того, что ни один из автомобилей, едущих за данным и перед ним, не совершают каких-либо маневров. Если результат положительный, то переход на пункт 5, иначе – конец алгоритма.

5) Выполнение перестроения на желаемую полосу. Переход на пункт 6.

6) Конец алгоритма.

Алгоритм обгона

1) Проверка возможности обгона. Для этого необходимо выполнение всех следующих условий:

а) Перед началом обгона водитель должен убедиться в том, что:

- ни один из водителей транспортных средств, которые движутся за текущим и которым можно создать помеху, не начал обгон;
- водитель автомобиля, который движется перед текущим по той же самой полосе, не подал сигнала поворота влево.

б) Обгон запрещен:

- на перекрестке, кроме случаев, когда обгоняются двухколесные транспортные средства без бокового прицепа;
- на железнодорожных переездах и ближе 100 м до них;
- ближе чем за 50 м перед пешеходным переходом в населенном пункте и 100 м – вне населенного пункта
- в конце подъема, в туннелях, на мостах, эстакадах, крутых поворотах и других участках дорог с ограниченной видимостью;

• транспортного средства, совершающего обгон или объезд;

• на дорогах, которые имеют 2 и больше полос для следования транспорта в одном направлении;

в) Отсутствует знак о запрете обгона.

2) Вычисление времени совершения обгона.

3) Проверка условия, что обгон завершится удачно. Это означает, что должны выполняться условия:

- автомобиль не столкнется с автомобилем, едущим ему на встречу;
- когда автомобиль закончит обгон, расстояние между ним и автомобилем, идущим за данным, будет отвечать нормам, установленным в правилах дорожного движения.

Если результат положительный, то перейти на пункт 4, иначе – конец алгоритма.

4) Выполнение обгона. Переход на пункт 5.

5) Конец алгоритма.

Приведенные алгоритмы могут использоваться как булевы функции, которые, в случае положительного результата, активируют переходы *П* и *О*.

Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития в данном направлении

Формализация алгоритма моделирования движения автомобильного дорожного транспорта с помощью сетей Петри позволяет легко построить программный алгоритм для его обработки.

Предложенный формальный алгоритм позволяет наглядно представить возможные состояния транспортного средства с помощью сети Петри и разметок $M^0 - M^5$. Использование алгоритмов перестроения и обгона в качестве активаторов соответствующих переходов, позволяет полностью определить влияние на транспортное средство конфигурации дороги (с учетом дорожных знаков и разметки) и других участников движения.

Список литературы

1. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнична група ВНУ, 2005. – 352 с.
2. Томашевский В.Н., Парамонов А.М. Система моделирования автомобильного дорожного движения. // Математическое и имитационное моделирование систем МОДС '2008. Тезисы докладов. К. – 2008. С. 183-187.