

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ТРАФИКА В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. М. Антонова, А. Д. Реброва

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Статья поступила в редакцию 23 мая 2019 г.

**Аннотация.** Современное общество нуждается в масштабном расширении сетей связи, это напрямую зависит от роста потребления трафика и увеличения количества приемо-передающих устройств, которое со временем обещает стать только больше. Решение данной проблемы требует новых подходов, которые могут решаться менее затратным моделированием. В последнее время гидродинамические модели стали все чаще использоваться для моделирования транспортного потока: изменения скоростей, заторы, слияние потоков, узкие места и расширения дорог, все эти явления имеют аналоги в физической модели движения жидкостей. Так, например, вязкость жидкости может быть перенесена на понятие «средней скорости» в транспортном потоке. В данной статье будет рассмотрен аналогичный подход к изучению сети сотовых связей, а также промоделирован отдельный участок.

**Ключевые слова:** гидродинамическая модель, трафик в сетях передачи данных, имитационное моделирование.

**Abstract.** Today's society needs a massive expansion of communications networks which is directly dependent on traffic consumption growth and increasing the number of transceivers that is going to become even greater over time. Efforts to address the problem require new approaches that apply modelling at lower cost. Recently, hydrodynamic models have been increasingly used for traffic flow modelling, since such phenomena as rate changing, congestions, flow merging, bottlenecks, and road expansion have correlation to physical model of liquid movement. Fluid viscosity, for instance, can be referred to the concept of the average rate in a traffic flow. This paper considers a similar approach to studying cellular communications networks and presents modelling of a separate network segment.

**Keywords:** hydrodynamic model, traffic in data transmission networks, simulation modelling.

Гидродинамическая модель — совокупность цифрового трехмерного массива параметров, характеризующая моделируемый процесс передачи трафика и управляющие воздействия на него в процессе, описывающая основные закономерности поведения потока на сети [1]. Это позволяет уточнить структуру сети и добавить/убрать элементы буферизации, а также выбрать оптимизационный вариант передачи при перегрузках сети.

Поток жидкости будет проассоциирован с трафиком пакетов от одной вышки сотовой связи в сеть. При этом, в модели учитывается, что каждый поток имеет свое направление, а также потоки не могут смешиваться, так как у каждого пакета свой конечный адрес назначения и между собой пакеты из разных потоков логически не связаны [2]. Однако, потоки могут пересекаться и влиять на скорость друг друга при следующих генерациях трафика:

- в другую соту, принадлежащую данному оператору,
- в данную зону, но переходит к другому оператору,
- в другой регион и другому оператору.

При подобных переходах происходит перераспределение ресурсов приемо-передающих вышек сотовой связи или маршрутизаторов сети, один из потоков может ускориться, другой замедлиться или попасть на ожидание в соответствующую очередь, которая будет обрабатываться выбранным ранее алгоритмом. Эти явления могут быть аналогичны сужению труб, наполнению резервуаров или расширению сети труб. Для аналога скорости трафика на сети была взята вязкость в жидкости [3,4].

Также стоит заметить, что для гидродинамической модели трафика применим закон о сохранении потока. Его основная идея заключается в том, что чем выше скорость потока, тем меньше его плотность на данном участке. Этот закон выражается формулой (1).

$$\frac{d}{dt} \int_R \rho(x,t) dx = - \int_R \frac{\partial}{\partial x} \left[ v_{max} \rho(x,t) \left( 1 - \frac{\rho(x,t)}{\rho_{max}} \right) \right] dx = 0, \quad (1)$$

где

$R$  – некоторый участок сети;

$\rho$  – плотность пакетов;

$v$  – скорость потока.

Для более подробного изучения была построена модель, состоящая из одного истока и двух стоков, которая иллюстрирует описанные выше свойства. Также в модель добавлены «фильтры» из шести резервуаров, которые отображают телекоммуникационное оборудование, обрабатывающее пакеты [5]. Поток пакетов аналогичен потоку жидкости, которая распределяется по системе благодаря фильтрам, рис. 1.

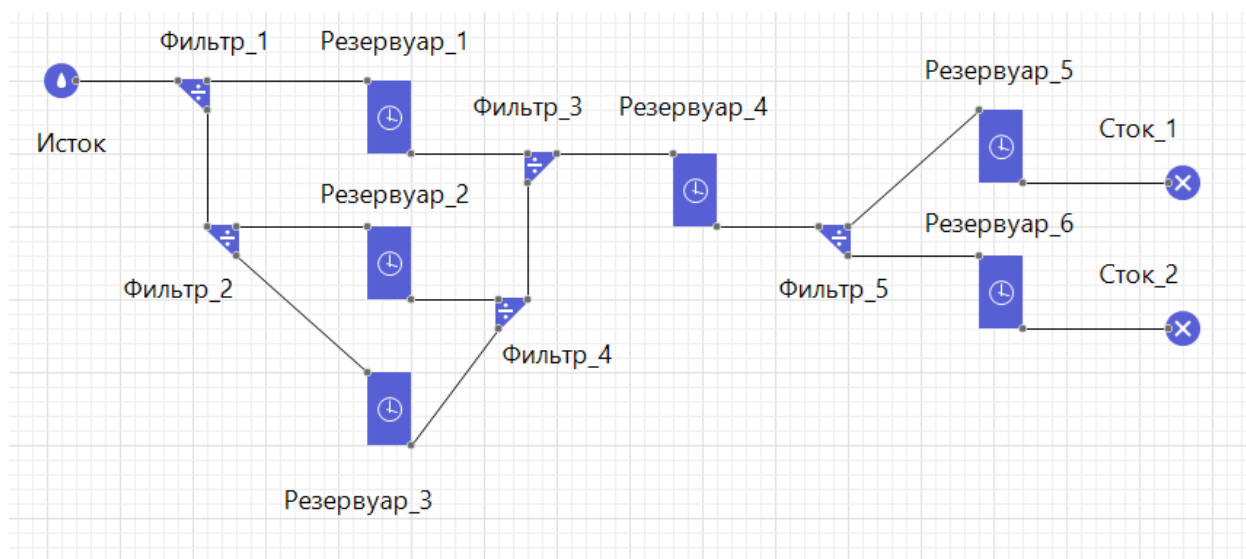


Рис. 1. Схема жидкостной модели.

Система делится на пять уровней, или пять этапов, через которые, предполагается, пройдет каждый из пакетов [6].

Первый этап – исток. Исток может представлять собой комплекс базовых станций или одного абонента, что в будущем позволит внедрить данную модель в более сложную систему.

Второй этап – это система из трех базовых станций. Каскад фильтров распределяет поток таким образом, чтобы на каждый из трех маршрутизаторов попадало одинаковое или заданное заранее по пропорции количество пакетов. В этом месте системы происходит ее расширение, которое позволяет увеличить скорость обработки и передачи пакетов.

Третий этап – из трех маршрутизаторов потоки пакетов снова стекаются в один. Этот участок модели позволяет изучить поведение пакетов в местах понижения скорости, например, когда обрабатывающих маршрутизаторов на сети становится меньше.

Четвертый этап – из одного маршрутизатора потоки распределяются по двум следующим с помощью единого фильтра. Из двух маршрутизаторов потоки попадают в сток и утилизируются, это и есть пятый этап.

В данной модели в фильтрах используется равномерное распределение, иначе говоря, каждый фильтр работает таким образом, чтобы в каждый из маршрутизаторов попадало одинаковое количество пакетов, насколько это возможно с учетом всех скоростей и задержек.

Настраивать модель можно следующим образом: менять скорость потока на входе и выходе из резервуара, менять время задержки жидкости в резервуарах, а также менять распределение между резервуарами внутри фильтров.

Модель позволяет наблюдать за тем, как работает распределение, в какой резервуар на обработку попадает больше литров жидкости, - или пакетов - согласно гидродинамической модели. Также можно наблюдать за скоростью потока, применяя те или иные ограничения, выставляя пропорциональное или приоритетное разделение в фильтрах.

Опишем эксперимент, данные которого будут представлены в таблицах ниже.

Время будем измерять в абстрактных единицах, а максимальная скорость потока будет измеряться в доле от изначального объема в системе за единицу времени.

Таблица 1. Параметры резервуаров

Тип элемента	Начальный объем	Максимальная скорость на выходе	Вместимость	Время обработки
Исток	100	0.1	100	0
Резервуар_1	0	0.01	1	1
Резервуар_2	0	0.01	1	1
Резервуар_3	0	0.01	1	1
Резервуар_4	0	0.01	1	1
Резервуар_5	0	0.01	1	1
Резервуар_6	0	0.01	1	1

Таблица 2. Параметры фильтров

Фильтр	Режим	Максимальная скорость на выходе
Фильтр_1	Пропорциональный: 1:2	0.1
Фильтр_2	Пропорциональный: 1:2	0.1
Фильтр_3	Пропорциональный: 1:2	0.1
Фильтр_4	Нейтральный	0.1
Фильтр_5	Нейтральный	Не ограничена

Результаты распределения:

Таблица 3. Результаты первого эксперимента

Исток	Доля
1	100%
2	0%

Результаты эксперимента говорят о том, что система работает таким образом, что Резервуар\_4 из третьего уровня наполняется, пока Резервуар\_5 опустошается. Таким образом потребность в Резервуаре\_6 отсутствует. При этом, если увеличить скорость в Резервуаре\_4, то давление в Фильтре\_5 увеличивается, и он распределяет нагрузку уже между Резервуаром\_5 и Резервуаром\_6. Иначе говоря, при увеличении плотности потока одного резервуара становится недостаточно для своевременной обработки жидкости, и тогда подключается второй. Это иллюстрирует распределение нагрузки между базовыми станциями.

Таким образом, регулируя параметры системы, можно наблюдать за производительностью системы, очередями и возникающими задержками.

Уменьшая и увеличивая скорости в фильтрах и резервуарах, можно добиться наиболее оптимального и равномерного распределения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-07-00525 А).

### Литература

1. K.Lee et al. Fukui-Ishibashi traffic flow models with anticipation of movement of the car ahead. *Phys. Soc. Jpn.* 2002, Vol. 71, No. 7, pp. 1651-1654
2. Emmerich H., Rank E. An improved cellular automaton model for traffic flow simulation. *Physica A*, 1997, Vol. 234, pp. 676-686.
3. Chowdhury D., Santen L., Schadschneider A., Statistical physics of vehicular traffic and some related systems. *Phys. Reports.*, 2000, Vol. 329. pp. 199-329. DOI [10.1016/S0370-1573\(99\)00117-9](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(99)00117-9)
4. Кретов А.Ю. Инновационные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010, С. 169 - 171.
5. Брайловский Н.О., Грановский Б.И. Моделирование транспортных систем. М.: Транспорт, 1978. 125 с.
6. В. В. Семенов. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. *Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша*, 2004, 034, 38 с.

#### Для цитирования:

В. М. Антонова, А. Д. Реброва. Исследование гидродинамической модели передачи трафика в среде имитационного моделирования. *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2019. № 6. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jun19/5/text.pdf>  
DOI 10.30898/1684-1719.2019.6.5