

## К ВОПРОСУ СИСТЕМАТИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

**Е. И. Васенкова**

*кандидат физико-математических наук, доцент, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: vassenkova@bsu.by*

Систематизированы математические модели для оценки транспортных систем в зависимости от решаемых задач и от комбинации двух признаков: уровня детализации и метода моделирования. Проведен анализ достоинств и недостатков рассмотренных моделей.

**Ключевые слова:** математическая модель; транспортная система; макроскопические, мезоскопические, микроскопические модели.

## ON THE ISSUE OF SYSTEMATIZATION OF MATHEMATICAL MODELS OF TRANSPORT SYSTEMS

**E. I. Vasenkova**

*PhD in physics and mathematics, associate professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: vassenkova@bsu.by*

Mathematical models for evaluating transport systems are systematized depending on the tasks to be solved and on the combination of two features: the level of detail and the modeling method. The advantages and disadvantages of the considered models are analyzed.

**Keywords:** mathematical model; transport system; macroscopic, mesoscopic, microscopic models.

Математические модели, применяемые для анализа транспортных систем, весьма разнообразны по решаемым задачам, математическому аппарату, используемым данным и степени детализации описания транспортной системы. В настоящее время не существует единой классификации методов моделирования. Систематизацию моделей в зависимости от решаемых задач можно провести по следующим признакам:

- в зависимости от метода решения – на аналитические и имитационные;
- по методам представления данных – на динамические модели, работающие в реальном времени, и статические, в которых параметры усредняются за определенный интервал времени;
- по временной шкале различают непрерывные и дискретные модели;
- по типу представления процесса модели делят на стохастические, в основе которых лежит зависимость от случайного сочетания параметров, и детерминированные, в которых следующее состояние транспортного потока однозначно определяется на основе предыдущего;
- по функциональной роли моделей, можно условно выделить три основных класса: прогнозные модели, имитационные модели, оптимизационные модели [1].

Прогнозные модели предназначены для решения задач оценки последствий изменений в транспортной сети или в размещении объектов. Имитационное моделирование ставит своей целью воспроизведение всех деталей транспортной системы, включая развитие процесса во времени. Для динамических моделей характерна значительно большая детализация описания транспортных систем. Основные области практического применения динамических имитационных моделей – улучшение организации транспортных систем.

В настоящее время актуальной задачей является разработка систем автоматизированного оперативного управления транспортными системами, работающих в режиме реального времени. Такие системы должны использовать информацию с датчиков в сочетании с динамическим имитационным моделированием. Однако помимо практических применений, развитие динамических моделей представляет большой научный интерес в связи с изучением транспортного потока как физического явления со сложными и нетривиальными свойствами.

В последнее время специалисты всё чаще прибегают к классификациям, которые основаны не на одном признаке, а на их сочетании. Одной из таких классификаций является классификация по двум основным признакам: уровню детализации и методу моделирования.

При построении макроскопических моделей транспортный поток рассматривается как неделимая единица. Примером макроскопической модели является модель Лайтхилла – Уизема, которая является первой гидродинамической моделью [3]. В основе моделей системной динамики лежат циклы обратной связи. Для получения представления о системе здесь используются причинно-следственные диаграммы, которые позволяют отследить взаимосвязи элементов модели и оценивать их влияние на результат. Модели системной динамики позволяют реализовывать системы на макроуровне и отлично подходят для прогнозирования различного рода ситуаций в долгосрочной перспективе, для отслеживания общих тенденций развития модели, что и характерно для макромоделирования. К недостаткам этих моделей можно отнести статичность результатов и относительно небольшую точность. Однако, при своих недостатках, макроскопические модели имеют такие плюсы как низкие требования к вычислительным ресурсам при большой скорости расчётов.

Особенностью мезоскопических моделей является комбинирование микро- и макроскопических моделей. Здесь определяется поведение каждого элемента транспортной системы, но при этом их взаимодействие рассматривается на макроскопическом уровне. К мезоскопическим моделям относят энтропийную модель, в основе которой лежит вероятностное описание поведения элементов транспортной системы. Преимуществом приведённых моделей является их компактность, а недостатком – узкий набор регулируемых параметров и не учёт динамики корреспонденций.

Микроскопические модели описывают систему путём описания поведения каждого отдельного элемента и вариантов взаимодействия с другими элементами. Недостатком микроскопических моделей является высокое потребление вычислительных ресурсов, что может стать проблемой при моделировании относительно большого количества участников транспортной системы. Помимо прочего, высокая степень детализации требует большого количества исходных данных. В

тоже время, их сложность позволяет строить модели весьма реалистично и адекватно действительности. Также к преимуществам микроскопических моделей можно отнести высокую точность получаемых результатов.

Учитывая большое разнообразие методов моделирования транспортных систем, то классификация построенная на сочетании разных признаков, позволит быстро определить подходящий метод моделирования для решаемой задачи.

#### **Библиографические ссылки**

1. *Потапова И. А., Бояришинова И. Н., Исмагилов Т. Р.* Методы моделирования транспортного потока [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. 2016. № 10-2. С. 338–342. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40856> (дата обращения: 12.06.2022).

2. *Недяк А. В., Рудзейт О. Ю., Зайнетдинов А. Р.* Классификация методов моделирования транспортных потоков [Электронный ресурс] // Вестник Евразийской науки. 2019. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/87SAVN619.pdf> (дата обращения: 17.05.2022).

3. *Швецов В. И.* Математическое моделирование транспортных потоков. М. : Институт системного анализа РАН, 2013. 52 с.