

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
**о диссертации Тесёлкина Александра Александровича**  
**«Методы планирования и статистического анализа**  
**наблюдений для оценки матриц транспортных**  
**корреспонденций», представленной на соискание ученой**  
**степени кандидата технических наук по специальности**  
**05.13.17 – Теоретические основы информатики.**

Диссертационная работа посвящена разработке методов планирования наблюдения и оценки матриц транспортных корреспонденций для применения в задачах моделирования транспортных потоков.

**Актуальность темы исследования** обусловлена активным развитием интеллектуальных транспортных систем и математических моделей транспортных потоков, а также их использованием для поддержки принятия управленческих решений. Модели транспортных потоков сводятся к решению оптимизационной задачи транспортного равновесия, которая подразумевает оценку матриц корреспонденций. Наиболее распространенными методами оценки матриц корреспонденций являются методы, использующие социально-экономические данные в качестве исходных. При этом натурные статистические методы (т.е. основанные на наблюдениях) разработаны недостаточно полно.

В диссертационной работе рассматриваются не только методы оценки корреспонденций на основе наблюдений, но и подходы к планированию этих наблюдений. Поэтому тему работы следует признать актуальной.

**Диссертация состоит** из введения, пяти глав, заключения и трех приложений. Работа содержит 162 страницы текста, 11 таблиц и 68 рисунков. Список литературы включает 102 наименования.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, охарактеризованы научная

новизна работы, ее практическая значимость, реализация и апробация результатов работы, приведено краткое содержание диссертационной работы.

**В первой главе** представлен обзор подходов к построению транспортной модели, рассмотрена постановка задачи транспортного равновесия. Основой для транспортной модели является модель соответствующей транспортной сети. Модель физической транспортной сети описана на языке теории графов. Введением весов (атрибутов) рёбер построена конструкция, называемая «транспортным графом». Выделены классы методов оценки корреспонденций – одной из составляющих поиска транспортного равновесия на сети.

**Вторая глава** посвящена натурным методам оценки корреспонденций и моделям наблюдения за потоками в транспортном графе. Натурные методы оценки корреспонденций зависят от типа собираемых наблюдений. Приводится авторская классификация моделей наблюдения на основе:

- расположения «наблюдателя»;
- полноты собираемой информации;
- типа «наблюдателя»;
- вида транспортного графа.

Ключевым моментом является переход от рассмотрения структуры графа к модели движения микрообъектов по транспортному графу как апериодической марковской цепи с дискретным временем, для чего потребовалось предположение об отсутствии памяти у моделируемого процесса.

**В третьей главе** рассматриваются вопросы, связанные с планированием наблюдений за транспортными потоками для оценки корреспонденций. Предлагается постановка задачи планирования наблюдений, как задачи распределения ресурса (количества возможных наблюдений) по узлам транспортной сети. Рассмотрены методы на основе ОМП-оценок и байесовских оценок. Для случая ОМП-оценок получено конечное решение, для байесовских – получена формальная постановка задачи оптимизации, допускающая эффективное решение известными численными методами.

**В четвертой главе** освещены аспекты практического применения разработанных методов планирования наблюдений и оценки матриц корреспонденций по данным наблюдений в задачах транспортного моделирования. Представлены основные результаты разработки комплексных математических транспортных моделей г. Новосибирска, Новосибирской агломерации и Новосибирской области, в которых принимал участие автор диссертации.

**В пятой главе** представлено краткое описание программной системы моделирования и анализа транспортных сетей, в разработке которой автор принимал участие в рамках диссертационного исследования.

Отметим **основные результаты диссертационного исследования**, полученные автором:

1. Предложены классификации моделей наблюдения в зависимости от вида выборки наблюдений, типа наблюдения полноты собираемых данных и используемой модели транспортного графа. Модели рассмотрены с точки зрения возможности оценки матрицы корреспонденций на основе наблюдений, для чего предложена интерпретация модели перемещения микрообъектов по транспортному графу в виде марковской цепи с дискретным временем.

2. Разработан новый метод оценки матриц корреспонденций, использующий представление графа в виде цепи Маркова и применимый для нескольких моделей наблюдения.

3. Предложена оригинальная постановка задачи планирования наблюдений за потоками в транспортном графе с целью оценки транспортных корреспонденций. Для случая ОМП-оценок и минимаксных D-оптимальные планы получено конечное аналитическое решение. Для случая байесовских оценок получена формальная постановка задачи оптимизации, позволяющая получать решения численными методами.

**Практическая значимость** работы заключается в возможности применения разработанных методов и программных средств при математическом моделировании потоков в транспортных сетях, что

подтверждается использованием результатов диссертационного исследования в целом ряде проектов, прежде всего в интересах г. Новосибирска и Новосибирской области.

**Достоверность результатов**, полученных в рамках диссертационного исследования, обеспечивается корректным применением теории планирования экспериментов, методов оптимизации, теории вероятностей и математической статистики, а также успешной апробацией методов и постановок задач при решении практических проблем управления транспортными потоками.

**Автореферат и список публикаций** полностью соответствуют содержанию диссертационного исследования. Основные результаты работы в полной мере отражены в 24 печатных работах. Четыре статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией.

По работе можно сделать следующие **замечания**:

1. В главе 1, при анализе мировых тенденций в транспортном моделировании незаслуженно опущен опыт стран Азии, таких как Китай, Япония и Южная Корея, в которых подобные задачи исследуются и эффективно решаются достаточно давно («Hai Yang, Tsuna Sasaki, Yasunori Iida, Yasuo Asakura, Estimation of origin-destination matrices from link traffic counts on congested networks, Transportation Research Part B: Methodological, Volume 26, Issue 6, 1992, Pages 417-434, ISSN 0191-2615, [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(92\)90008-K](https://doi.org/10.1016/0191-2615(92)90008-K)»). Из более современных можно указать, например, «Wang Y, Ma X, Liu Y, Gong K, Henricakson KC, Xu M, et al. (2016) A Two-Stage Algorithm for Origin-Destination Matrices Estimation Considering Dynamic Dispersion Parameter for Route Choice. PLoS ONE 11(1): e0146850. doi:10.1371/journal.pone.0146850».
2. Практически отсутствует обзор современных отечественных работ по оценке матриц корреспонденций, не упомянуты работы СПбГУ под руководством профессора Захарова В.В. В частности, работа Крылатова А.Ю. и Раевской А.П. «Оптимальное расположение датчиков на транспортной сети для оценки

матрицы корреспонденций (DOI: 10.5862/JCSTCS.236.4)», вышедшая в 2016 году, напрямую связана с тематикой диссертации.

3. Рисунки 1.1 – 1.3. называются транспортными моделями, хотя это только *графы* соответствующих транспортных сетей.
4. Начиная со стр. 24, где вводится представление транспортной сети как *ориентированного* графа, дуги неоднократно называются *рёбрами*, т.е. им отказывается в ориентации.
5. На стр. 43 приводятся функции Вох-Сох и «комбинированная функция», зависящие, соответственно, от 2 и 3 параметров, тогда как далее вектор параметров описывается как *n*-мерный.
6. На стр. 46 есть формула  $\forall j \hat{\rho}_j \sim P(\lambda_j)$  с пояснением «где  $P(\lambda_j)$  – распределение Пуассона с параметром». О значении параметра ещё можно догадаться, но что означает знак ‘ $\sim$ ’ – не объяснено.
7. На стр. 49 либо неправильно написанное, либо очень далекое от реальной ситуации упрощение: «в «момент времени»  $t$  все микрообъекты находятся в некоторой вершине графа...»: трудно предположить, что все транспортные средства могут собраться в одной вершине сети.
8. На стр. 54 утверждается, что «Любое движение микрообъектов по транспортному графу можно свести к процессу «без памяти»», тогда как это относится только к предложенной модели транспортного графа.
9. В формуле (2.11) очевидная опечатка: надо не  $E[w_j(t), w_k(s)] = 0$ , а  $E[w_j(t) \times w_k(s)] = 0$ .
10. На стр. 60, в первом предложении после матрицы, правильно не «в векторной форме», а «в матричном виде».
11. На той же странице в ограничениях к оптимизационной задаче (2.14) правильно не «с учетом ограничений (условий нормировки)», а «с учетом ограничений *и* условий нормировки», так как большая часть ограничений имеет вид неравенств.

12. На стр. 65 говорится, что «применение определенных численных методов может существенно ускорить процесс вычисления матрицы». Хотелось бы узнать, каких именно методов.
13. На стр. 67-68, при объяснении формулы (2.29) говорится, что слагаемые *могут* выглядеть определённым образом. Соответственно, могут выглядеть и иначе. Чем и насколько обоснован выбор?
14. На стр. 72, в последнем из принципов планирования наблюдений постулируется требование независимости отрезков. Насколько это соответствует реальности? Или это просто для удобства математических выводов?
15. При оценивании корреспонденций на реальных данных от сотовых операторов получена избыточная для поставленных в диссертации целей информация. В самом деле, какая разница светофору, какого возраста водитель за рулём?
16. На стр. 109-110 приведены совершенно не нужные для понимания сути формулы вычисления известных показателей. Достаточно было эти показатели просто перечислить.
17. В тексте достаточно много грамматических и стилистических ошибок и опечаток, хотя они в основном не мешают пониманию. А вот рисунки иногда непонятны в силу слишком мелкого шрифта в надписях. Например, это рисунки 1.2, 1.3, 5.3...

**Диссертация по области исследования** соответствует паспорту специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики, а именно пункту 5 - Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечениях разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений.

Оценивая диссертационную работу в целом, считаю, что, несмотря на отмеченные замечания, она выполнена в соответствии с требованиями «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24

сентября 2013 г. N 842. В частности, выполнены требования пунктов П.9 и П.10: диссертация является научно-квалификационной работой, которая содержит решение актуальной задачи, посвященной разработке методов оценки корреспонденций и планирования наблюдений на транспортных сетях, написана самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на научно-технических конференциях, в том числе с международным участием, и опубликованы в 24 печатных работах, включая 4 статьи в научных журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК и 3 публикации в трудах международных конференций, индексируемых Scopus и Web of Science (WoS); имеется одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Участие соавторов в совместных работах оговорено.

Тесёлкин Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук

д.т.н., с.н.с., доцент

Почтовый адрес: 630090, Новосибирск,

Россия Проспект академика Лаврентьева, 6,

Телефон: 332-69-49

Адрес эл.почты: alrod@sscc.ru

Подпись доктора технических наук

Родионова Алексея Сергеевича удо

А.С. Родионов

*надров* *Трафимов* *Слева*

*Зав. кафедрой*

*Судав поступила  
с датой 08.02.2015 г.*

*Создан документ 08.02.2015*