

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Скороходова Владимира Александровича «Графы с нестандартной достижимостью: маршрутизация, случайные процессы и потоковые задачи», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики (физико-математические науки)

**Актуальность** темы диссертационного исследования обусловлена всё возрастающей ролью методов теории графов в условиях современного развития науки и техники. Модели, в основе которых лежат графы (в частности, ориентированные графы), являются неотъемлемой частью решения большого числа прикладных задач, возникающих в самых различных областях. В качестве примеров применения методов и алгоритмов можно привести задачи поиска кратчайших путей в навигационных системах, оптимальных вариантов маршрутов передачи данных в компьютерных и телекоммуникационных сетях, составление планов распределения товаров, дающих наибольшую экономию средств на транспортные расходы, распределённые вычисления на кластерах и суперкомпьютерах и многие другие задачи.

При исследовании таких моделей в большинстве случаев рассматривают одну из трёх задач: задачу о достижимости, о максимальном потоке и о случайных блужданиях. При этом, классические методы алгоритмической теории графов предполагают, что все пути на графе являются допустимыми, однако, всё чаще встречаются ситуации, для которых в силу ряда обстоятельств имеют место некоторые ограничения на прохождение некоторых путей в графовой модели. К ним можно отнести, например, задачу нахождения оптимального маршрута в телекоммуникационной сети с помехами на некоторых участках или задачу нахождения кратчайшего пути для различных видов транспорта: некоторые пути могут быть кратчайшими для транспортного

средства с высокой проходимостью и недопустимыми для транспортных средств с низкой проходимостью. Таким образом, становится необходима разработка методов, расширяющих применение теории графов и позволяющих строить дискретные модели, учитывающие подобные ограничения в реальных прикладных задачах.

В представленном диссертационном исследовании рассмотрено понятие нестандартной достижимости на ориентированном графе. Нестандартная достижимость представляет собой некоторое ограничение на прохождение по дугам выделенных подмножеств множества дуг графа. Таким образом, для графа с нестандартной достижимостью рассматривается не всё множество путей, а только некоторое его подмножество, определяемое введённым ограничением. В диссертации изучены ориентированные графы с нестандартной достижимостью или её аналогом, разработаны достаточно общие методы решения перечисленных выше классических графовых задач, а также разработан и строго обоснован метод, позволяющий ставить и решать краевые задачи на графах с нестандартной достижимостью.

Таким образом, исследование графов с нестандартной достижимостью и их аналогов является актуальным и важным как с прикладной так и с теоретической точек зрения.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Все научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, математически доказаны. Обоснованность полученных результатов и выводов обеспечивается корректным использованием современного математического аппарата и строгим математическим доказательством предложенных методов и алгоритмов.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректным использованием методов теории графов, комбинаторного анализа, теории вероятностей, алгебры.



Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается также апробацией основных результатов на Международных и Всероссийских конференциях и семинарах, и в опубликованных работах.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Введено общее понятие графа с нестандартной достижимостью. Для решения задач о достижимости, о максимальном потоке и о случайных блужданиях на графах с нестандартной достижимостью и их аналогах обобщён и строго обоснован метод развёрток Басанговой-Ерусалимского. Согласно этому методу, для графа с нестандартной достижимостью строится развёртка (вспомогательный граф), которая обладает следующим свойством: каждому пути на развёртке соответствует допустимый путь на исходном графе с нестандартной достижимостью.
2. Изучены процессы случайного блуждания на графах с нестандартной достижимостью и их аналогах. Показано, что в общем случае такие процессы не являются марковскими, однако, сводятся к марковским процессам на развёртке. Сформулирован и доказан критерий о структуре цепи Маркова, для которой существует стационарное распределение.
3. Введены и изучены новые объекты — обобщённые сети со связанными дугами как средство моделирования потока в сети с нестандартной достижимостью. Разработан метод нахождения максимального потока в обобщённой сети со связанными дугами.
4. В качестве аналогов графов с нестандартной достижимостью рассмотрены новые объекты — графы с зависимостью весов дуг от времени (в частности, с зависимостью длительностей прохождения по каждой дуге графа). Получены оценки сверху для количества дуг кратчайшего пути для графов с нестандартной достижимостью и графов с зависимостью весов дуг от времени.

5. Для задач о кратчайшем пути и о максимальном потоке на графах и сетях с нестандартной достижимостью и её аналогами разработаны алгоритмы их решения.
6. Показано, что задачи о кратчайшем пути и о максимальном потоке на графе с зависимостью длительностей прохождения по дугам от времени сводятся к аналогичным задачам на временной развёртке.
7. Проведено исследование дискретного аналога оператора Лапласа на графах с нестандартной достижимостью. Разработан и строго обоснован метод, позволяющий ставить и решать краевые задачи на графах с нестандартной достижимостью.

Результаты теоретического исследования и практические разработки, изложенные в диссертации, могут использоваться при соответствующей адаптации в сетях для организации вычислений, распределении ресурсов, оптимизации программного кода и решения других проблем.

Предложенный в работе подход к нестандартной достижимости и ее аналогам имеет универсальный характер, а с общетеоретической точки зрения он может стать предметом дальнейшего исследования специалистов.

Результаты диссертационной работы целесообразно использовать в учреждениях высшего и дополнительного образования, в которых изучаются дисциплины, связанные с разработкой и исследованием информационных структур и процессов.

**Замечания:**

1. Доказательства некоторых утверждений (например, стр. 165, лемма 4.2 и стр. 168, теорема 4.7) довольно тяжеловесны, думается, их можно упростить.

2. Если бы перед введением каждого из рассмотренных типов достижимости давалось краткое описание породившей этот тип достижимости задачи, то дальнейшее изложение воспринималось бы существенно проще.

3. При исследовании дискретного аналога оператора Лапласа на графах с нестандартной достижимостью не рассматривались вопросы о его спектре, а также о связи спектра лапласиана с топологической структурой (геометрией) графа с нестандартной достижимостью.

Указанные недостатки не снижают высокого научного уровня полученных в диссертации результатов.

**Заключение.** Диссертационная работа В.А. Скороходова «Графы с нестандартной достижимостью: маршрутизация, случайные процессы и потоковые задачи» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне. Тема диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.17 — Теоретические основы информатики, а именно, п. 10 «Разработка основ математической теории языков и грамматик, теории конечных автоматов и теории графов». Все результаты, полученные в диссертации, являются новыми и достоверными, некоторые из них не имеют аналогов. Выводы и заключения обоснованы. Доказательства являются полными и корректными.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационной работы. Все основные результаты своевременно опубликованы в 41 печатных работах, из которых 14 — в изданиях из перечня ВАК, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований, 1 — в зарубежных реферируемых изданиях, приравненных к изданиям из перечня ВАК, 2 — в тематических выпусках журналов из перечня ВАК. Результаты диссертации прошли достаточную апробацию и были доложены на Международных и Всероссийских конференциях и семинарах.

Таким образом, представленная диссертационная работа представляет собой законченное исследование на актуальную тему. В ней разработаны представляющие несомненную научную значимость для специальности 05.13.17 — теоретические основы информатики (физико-математические науки) теоретические положения, совокупность которых можно квалифици-

ровать как научное достижение. Считаю, что диссертационная работа «Графы с нестандартной достижимостью: маршрутизация, случайные процессы и потоковые задачи» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук отвечает всем требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, а ее автор, В.А. Скороходов, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики (физико-математические науки).

Профессор кафедры уравнений  
в частных производных и теории  
вероятностей ФГБОУ ВО

«Воронежский государственный  
университет»

доктор физико-математических  
наук, доцент

 В.В. Провоторов

*Сведения об оппоненте:*

*Провоторов Вячеслав Васильевич*

*доктор физико-математических наук, доцент*

*Сл. адрес: 394018, Россия, г. Воронеж*

*Университетская пл., 1, комн. 327.*

*e-mail: wwprov@mail.ru*

*тел.: +7 (950) 7581514*

*научная специальность: 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ*



федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)	
Подпись	<i>Провоторов В.В.</i>
Заверяю	<i>без сомнения</i>
	должность
	<i>Секретарь</i>
	подпись, репсифровка подписи
	20