

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Российский государственный социальный университет»
129226, Москва, ул. Вильгельма Пика, дом 4, стр. 1

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию
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**

Актуальность темы.

В связи со всё возрастающей ролью информационных технологий становятся особенно актуальными различные модели, позволяющие на их основе создавать самые разнообразные компьютерные приложения. И, по-видимому, сложно найти область знаний, в которой среди математических моделей не применялись бы модели теории графов. Однако в прикладных задачах часто изучается не столько сам граф и его различные *статические* характеристики (инварианты), сколько соответствующие этому графу *динамические* процессы. По-видимому, к подобным задачам стоит отнести следующие три классические задачи: о кратчайшем пути, о случайных блужданиях и о максимальном потоке.

Для каждой из этих задач – в немного различающихся, но схожих между собой постановках, – ранее описаны классы алгоритмов их решения. Как правило, все эти алгоритмы предполагают рассмотрение всего множества путей на графе, однако, *в реальных прикладных задачах* на использование некоторых из путей накладываются различные ограничения. Такие ограничения могут иметь различную природу (технологическую, экономическую, правовую и т. п.), но при их наличии известные алгоритмы и методы становятся неприменимыми, и, следовательно, требуется разработка методов, которые будут учитывать подобные ограничения.

Для разработки подобных методов автор представляемой диссертации использует определение достижимости вершин графа, отличающееся от стандартного: на множество путей графа накладываются некоторые ограни-

чения. Это означает, что некоторые пути могут стать недопустимыми. Автор отмечает, что при таком рассмотрении и обыкновенные ориентированные графы также считаются графами с нестандартной достижимостью.

Итак, диссертационная работа посвящена исследованию ориентированных графов и сетей с нестандартной достижимостью, а также рассмотрению аналогов этого варианта достижимости и её переносу на общие методы решения классических задач: о кратчайших путях; о случайных блужданиях; о потоках в сетях. Кроме того, в работе описывается и обосновывается общий метод, позволяющий ставить и решать краевые задачи на графах с нестандартной достижимостью.

Обосновывая актуальность диссертационной работы, я также хочу отметить следующее обстоятельство, непосредственно связанное с моими научными исследованиями. В настоящее время широко известны два доказательства разрешимости проблемы звёздной высоты регулярного языка, но только одно из них – Д. Кирстена, с последующим некоторым его улучшением М. Боянчиком – может быть в принципе доведено до практически выполнимых компьютерных программ. В этом доказательстве используются специальная модификация недетерминированных конечных автоматов (так называемые *distance desert automata*), принятие некоторого слова которыми фактически сводится – говоря языком, близким к терминологии рассматриваемой диссертации, – к построению специального варианта достижимости на соответствующих этим автоматам ориентированных графах.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Основной результат диссертационной работы состоит в развитии и обосновании общих методов решения классических задач о кратчайших путях, о случайных блужданиях и потоковых задач на графах и сетях с нестандартной достижимостью (статической и динамической), которые позволяют исходную задачу, поставленную на графе с нестандартной достижимостью, сводить к задаче на вспомогательном графе, в котором отсутствуют ограничения на достижимость.

Перечислим основные результаты диссертации, составляющие её *научную новизну*.

1. Введено общее понятие графа с нестандартной достижимостью. Для решения классических задач на графах с нестандартной достижимостью и их аналогах обобщён метод развёрток, предложенный ранее в работах научного

консультанта Я. М. Ерусалимского и Е. О. Басанговой. Метод развёрток состоит в построении вспомогательного графа – т.н. развёртки – для которого имеется соответствие между множеством допустимых путей на графе с ограничениями на достижимость и множеством путей на графе-развёртке. В работе метод развёрток теоретически обоснован.

2. Для графов с нестандартной достижимостью и графов с зависимостью весов дуг от времени получены оценки сверху для количества дуг кратчайшего пути.

3. Проведено исследование процессов случайного блуждания частицы по вершинам графа с нестандартной достижимостью. Показано, что процесс случайного блуждания по вершинам графа с нестандартной достижимостью, в общем случае не являющийся марковским, сводится к марковскому процессу на вспомогательном графе. Для процесса случайного блуждания на графах с нестандартной достижимостью проанализировано возникновение-исчезновение устойчивых циклов. В терминах графовой структуры цепи Маркова сформулирован и доказан критерий существования стационарного распределения.

4. Диссертантом введены и подробно рассмотрены новые объекты – обобщённые сети со связанными дугами. Для них разработан метод нахождения максимального потока. Показано, что развёртка сети с нестандартной достижимостью является частным случаем обобщённой сети со связанными дугами, что позволяет корректно переносить задачу о максимальном потоке в сети с нестандартной достижимостью на её граф-развёртку.

5. Для графов и сетей с нестандартной достижимостью и её аналогами разработаны алгоритмы решения задач о кратчайшем пути и о максимальном потоке. Для алгоритма нахождения кратчайшего пути на графе с нестандартной достижимостью получена оценка вычислительной сложности, учитывающая размер исходного графа и тип достижимости.

6. Доказана сводимость задач о кратчайшем пути и о максимальном потоке на графе с зависимостью длительностей прохождения по дугам от времени к аналогичным задачам на вспомогательном графе. В частности это позволяет для решения задачи о нахождении кратчайшего пути и времени начала движения по нему применять на развёртке алгоритм Дейкстры, который напрямую неприменим для графов с зависимостью длительностей прохождения по дугам от времени.

7. Разработаны и обоснованы методы решения краевых задач, порождённых дискретным аналогом оператора Лапласа, на графах с нестандартной

достижимостью. Доказаны существование и единственность решения задачи Дирихле на графе с нестандартной достижимостью.

Оценка новизны и достоверности.

Представленная на рассмотрение диссертация общим объёмом 255 страниц состоит из введения, шести глав и заключения. Список литературы состоит из 139 наименований.

В первой главе диссертации приведены основные понятия и определения, необходимые для дальнейшего изложения. Приведены оценки вычислительной трудоёмкости алгоритмов нахождения кратчайшего пути. Описан общий подход к рассмотрению графов с нестандартной достижимостью.

Во второй главе рассматривается связь нестандартной достижимости со случайными процессами. Для этого описываются случайные процессы на графах с различными условиями достижимости.

В третьей главе рассматриваются вопросы устойчивости и стационарного распределения на графах, в том числе – применительно к графам с нестандартной достижимостью. В ней введены понятия устойчивых, полуустойчивых и неустойчивых режимов (циклов) графа. Разработаны алгоритмы нахождения устойчивых и неустойчивых циклов.

В четвёртой главе подробно изучается задача о максимальном потоке для определённой ранее сети с нестандартной достижимостью. Для неё предложен алгоритм нахождения максимального потока.

В пятой главе рассмотрены графы, некоторые характеристики которых зависят от параметра, который можно интерпретировать как время. Диссертантом показано, что подобные графы являются аналогами графов с нестандартной достижимостью, т.е. для решения рассматриваемых классических задач для таких графов можно использовать предложенные в предыдущих главах методы.

В шестой главе изучается дискретный аналог оператора Лапласа, а также задача Дирихле, порождаемая лапласианом на графах с нестандартной достижимостью. Получены дискретные аналоги первой и второй формул Грина, сформулирована и доказана теорема существования и единственности решения задачи Дирихле.

В заключении приведено описание результатов диссертации.

Достоверность научных положений и рекомендаций, приведённых в диссертации, обеспечивается корректным использованием методов теории графов, дискретной математики, алгебры, комбинаторного анализа. Во всех

случаях, когда полученные результаты являются обобщением известных, имеет место корректное вложение. Научные положения и выводы строго аргументированы, содержат исчерпывающие формализованные обоснования в форме доказательств и пояснений, отличающиеся математической корректностью. В тексте диссертации представлено много иллюстративных примеров. Диссертация является завершённой научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне. Диссертационная работа характеризуется последовательной структурой и чёткостью изложения. Полученные результаты свидетельствуют о высоком уровне согласованности экспериментальных и теоретических исследований автора.

Основные результаты работы опубликованы в 41 рецензируемом издании, среди которых:

- 14 работ опубликованы в изданиях перечня ВАК, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований;
- 1 работа опубликована в зарубежном реферируемом издании, приравненном к изданиям перечня ВАК;
- 2 работы опубликованы в спецвыпусках журнала из перечня ВАК
- 2 работы опубликованы в приложениях к журналам из перечня ВАК.

Замечания по диссертационной работе.

1. В диссертации практически отсутствуют примеры реальных физических или инженерных задач, которые обосновывают необходимость введения различных видов достижимости; такие примеры было бы удачно привести в начале работы – либо при рассмотрении соответствующего вида достижимости.
2. В диссертационной работе не приведён предметный указатель, что немало затрудняет её чтение и понимание – особенно читателем, не являющимся специалистом в теории графов.
3. Имеется небольшое количество пунктуационных и стилистических ошибок. Например, в нескольких случаях «так же» вместо необходимого по смыслу слова «также» (например, стр. 23 и 24 автореферата).

Отмеченные недостатки – небольшие; они не снижают качества проведённых исследований и не влияют на главные теоретические и практические результаты выполненной диссертационной работы.

Заключение.

Рассматриваемая диссертационная работа является законченным научным исследованием, проведённым автором самостоятельно на высоком тео-

ретическом уровне. Полученные в результате теоретические заключения дают основание считать диссертацию Скороходова Владимира Александровича актуальной и своевременной разработкой, имеющей большое научное значение. Новизна предлагаемых математических моделей и доказываемых утверждений, изложенных диссертантом, не вызывает сомнений и должна найти своё применение в дальнейших научных исследованиях. Диссертация написана хорошим языком, с достаточным числом необходимых для понимания материала примеров.

В соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» диссертация представляет научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное теоретическое и практическое значение. Автор диссертационного исследования «Графы с нестандартной достижимостью: маршрутизация, случайные процессы и потоковые задачи» Скороходов Владимир Александрович заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

Официальный оппонент:

доктор ф.-м. наук, профессор,

профессор кафедры

информационных систем, сетей и безопасности

факультета информационных технологий

Российского государственного социального университета

Б.Ф. Мельников

Сведения об оппоненте:

Мельников Борис Феликсович,

доктор физико-математических наук, профессор.

Служебный адрес: 129226, Москва, ул. Вильгельма Пика, дом 4, стр. 1.

e-mail: bf-melnikov@yandex.ru

тел.: +7 (916) 722 97 56

научная специальность по докторской диссертации: 05.13.11 –

математическое и программное обеспечение вычислительных машин,

комплексов и компьютерных сетей

Подпись Мельникова Бориса Феликсовича заверяю

