

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Булдаева Александра Сергеевича на диссертацию Новикова Ивана Сергеевича на тему: «Исследование задачи оптимизации ресурсов и концентрации загрязнений в регионе от локальных источников», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Актуальность избранной темы. Проблема охраны окружающей среды от загрязнений является одной из актуальных проблем современной науки. В качестве источников загрязнений могут выступать трубы промышленных предприятий и общественный транспорт, причем их влияние становится все более существенным с каждым годом из-за темпов технического прогресса. В летний период (или период засухи) могут возникать лесные и торфяные пожары значительной интенсивности и вносить существенный вклад в загрязнение атмосферы (ярким примером служит лето 2010 года на Европейской территории России). От своевременности и эффективности решения этой проблемы зависит здоровье и благосостояние людей, находящихся в регионе возможных загрязнений, сохранность различных экосистем, а также объем государственных средств (ресурсов), которые необходимо выделить на ликвидацию загрязнений и их последствий. Следует отметить, что источники загрязнений значительной интенсивности могут возникать в различных зонах рассматриваемого региона на достаточно большом временном интервале и ресурсов может быть недостаточно для устранения всех таких источников. По этой причине важной является проблема оптимального (рационального) распределения имеющихся ресурсов по всему исследуемому региону с целью оптимизации экономического ущерба, возникающего вследствие загрязнения окружающей среды вредными веществами.

Сказанное выше обосновывает актуальность избранной темы. Диссертация Новикова Ивана Сергеевича посвящена разработке алгоритмов

и комплекса программ для решения вышеописанной экологической проблемы, которая рассматривается в терминах задачи оптимизации о локальных источниках при интегральном наблюдении.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы их строгими математическими доказательствами, а также серией численных экспериментов, иллюстрирующих эффективность предложенных методов решения исследуемой задачи.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. В рамках диссертации получены следующие основные научные результаты:

- сформулирован класс задач оптимального управления о локальных источниках при интегральном наблюдении (на основе математической модели распространения загрязнений в окружающей среде с «корректными» граничными условиями), проведено его теоретическое исследование;
- разработаны и обоснованы алгоритмы решения исследуемого класса задач, в том числе методы оптимального распределения имеющихся ресурсов по регионам локальных источников;
- получены решения модельных задач на основе созданного программного комплекса, иллюстрирующих эффективность предложенных алгоритмов и основные теоретические положения рассматриваемого класса задач (в качестве региона, на примере которого производилось численное моделирование, брались Москва, Московская область и некоторые части прилегающих к ней областей).

Все эти научные результаты и выводы являются новыми, их достоверность не вызывает сомнений. Предложенные в диссертации рекомендации по использованию результатов способствуют дальнейшему развитию работы.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов. Разработаны методы решения класса задач оптимального

управления, позволяющие вычислять функции «управления» в аналитическом виде. В большинстве работ по исследованию задач оптимизации «управляющие параметры» вычисляются итерационно, что требует исследования сходимости процесса, а также решения проблемы выбора параметра итерационного процесса. В диссертации Новикова Ивана Сергеевича предложена методика, не требующая вычислять «управления» итерационно. Кроме того, поскольку получен явный вид функций «управления», то в работе доказано, что можно налагать ограничения на них апостериорно, а не в математической постановке задачи. Подобный результат является новым, значимым и практичным. Также отметим, что используя подходы, предложенные в работе, можно исследовать и численно решать задачи оптимизации концентрации загрязнений не только в Московском регионе, но и в любом регионе с простой орографией и достаточно большой площадью лесов, или торфяников (например, в регионе Западной Сибири).

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в ИВМ РАН, ИПМ РАН, ИММ УрО РАН, МГУ, МФТИ, МИФИ, ФГБОУ ВПО «Бурятский государственный университет» и других организациях, занимающихся разработкой алгоритмов решения задач оптимального управления.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности. Общий объем диссертации – 150 страниц, работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 86 наименований, включая публикации автора диссертационной работы.

Во **введении** обсуждаются актуальность темы исследования, цели работы, научная новизна, а также значимость работы для науки.

В параграфе 1.1 **первой главы** приведен краткий обзор литературы о методах исследования и решения задач с локальными источниками, даны основные понятия, которыми автор оперирует в дальнейшем. Так, под

локальным источником понимается функция, носитель которой есть некоторая ограниченная область (из этой области, к примеру, может происходить распространение загрязняющих веществ). Под «управлением» локальным источником понимается закономерность, по которой необходимо устранять источники загрязнений. Физически «управлением» является скорость устранения единицы примеси с единицы площади источника загрязнения. Интегральное наблюдение - это «осреднение» основной неизвестной по «охраняемому» региону и, возможно, по времени. Под «осреднением» функции понимается интеграл от этой функции с наперед заданным весом, а «охраняемым» регионом называется ограниченная область, в которой производится наблюдение, к примеру, за концентрацией загрязняющих веществ.

В параграфе 1.2 введен класс задач о локальных источниках при интегральном наблюдении. В качестве математической модели распространения загрязнений используется трехмерное нестационарное уравнение конвекции-диффузии с граничными условиями третьего рода и «стандартным» начальным условием. Эти уравнения образуют систему, называемую прямой задачей. Для нее введена обобщенная постановка и доказана теорема существования и единственности решения. Прямая задача дополняется «условием замыкания», которое содержит интегральное наблюдение. Также, на нижней границе введены «управления» («дополнительные неизвестные») источниками загрязнений. Поскольку система уравнений с «условием замыкания» типа интегральное наблюдение является некорректной, то происходит переход к рассмотрению класса задач оптимального управления о локальных источниках при интегральном наблюдении, в котором «условие замыкания» заменяется условием минимизации квадратичного функционала невязки, содержащего параметр регуляризации.

В параграфе 1.3 рассматриваются алгоритмы решения введенного класса задач оптимального управления, в частности приводится алгоритм,

основанный на методах теории сопряженных уравнений и «двойственного» представления квадратичного функционала невязки. Получена формула для вычисления «управлений» в аналитическом виде, а также доказано, что квадратичный функционал невязки достигает глобального минимума на этих «управлениях». Кроме того здесь показано, что при параметрах регуляризации, стремящихся к нулю, функционал также стремится к нулю. Данный факт гарантирует, что, например, величины «желаемой» «средней» концентрации (экономического ущерба) и аналогичные величины, полученные в результате управлений источниками загрязнений (остаточные величины), будут близки на практике при малых параметрах регуляризации.

В параграфе 2.1 **второй главы** приводится постановка задачи оптимизации «средней» концентрации загрязнений в регионе от локальных источников. В параграфе 2.2 предложен алгоритм решения этой задачи, а также изложена методика введения ограничений на «управления» интенсивностью локальных источников, а именно, доказана теорема, гарантирующая, что ни из одного локального источника ни в один момент времени нельзя устранить больше загрязнения, чем может распространиться (то есть, что выполняется «условие физичности»).

В параграфе 3.1 **третьей главы** приведены постановки двух задач оптимизации экономического ущерба. В одной постановке рассматриваются обратные задачи с несколькими группами локальных источников, стартующих в различные моменты времени. Для описания процесса распространения загрязнений применяются несколько систем уравнений (в каждой – своя группа источников загрязнений), включающих уравнения конвекции-диффузии, и несколько «условий замыкания», аналогичных тем, что были введены ранее в первой и второй главах, однако в качестве интегрального наблюдения здесь выступает не «средняя» концентрация загрязнений, а экономический ущерб. В другой постановке предполагается, что все источники загрязнения начинают загрязнять атмосферу в начальный момент времени, однако помимо «условия замыкания» с экономическим

ущербом вводится еще одно условие, в которое входит количество ресурсов, выделенных на устранение источников загрязнений. То есть здесь предполагается, что количество ресурсов на ликвидацию локальных источников, ограничено.

В параграфе 3.2 описан алгоритм решения задачи оптимизации экономического ущерба от нескольких групп локальных источников. В целом он аналогичен подходу, предложенному в параграфе 2.2. Применимость алгоритма обоснована строгими теоретическими утверждениями, сформулированными и доказанными в этом параграфе.

Параграф 3.3 посвящен обсуждению алгоритмов решения задачи оптимизации экономического ущерба с учетом ресурсов на устранение локальных источников. Первый алгоритм - одношаговый, в нем «управления» вычисляются за один шаг, и предполагается, что выделенных ресурсов достаточно на один шаг вычисления «управлений». Другой алгоритм – многошаговый. В нем «управления» многократно вычисляются и уточняются, поскольку предполагается, что ресурсов выделено больше, чем на один шаг вычислений. Если бы в этом случае «управления» рассчитывались за один шаг, то это приводило бы либо к нарушению «условия физичности», либо к неполному использованию имеющихся ресурсов, что влечет за собой недостижимость глобального минимума функционала невязки. В этом параграфе также доказано, что число шагов алгоритма всегда конечно.

В четвертой главе рассматривается схема дискретизации трехмерной математической модели распространения примеси в регионе. В параграфе 4.1 описан процесс построения схемы дискретизации как прямой, так и «вспомогательной» сопряженной задачи. Для построения схемы вводится прямоугольная сетка и базисные три-линейные функции, а сама схема строится методом интегральных тождеств.

В параграфе 4.2 исследуются свойства построенной схемы. В частности, здесь формулируется теорема, которая утверждает, что

построенная схема аппроксимирует дифференциальные операторы прямой задачи с первым порядком точности по временной и пространственным переменным, является абсолютно устойчивой и обладает свойством монотонности.

В параграфе 4.3 представлены результаты тестового численного эксперимента по моделированию распространения загрязнений в регионе. Эксперимент направлен на тестирование схемы дискретизации математической модели распространения примеси в регионе без учета источников загрязнений на нижней границе и на гладком решении. Результаты эксперимента проиллюстрировали справедливость всех утверждений теоремы из параграфа 4.2.

В параграфе 5.1 **пятой главы** описан комплекс программ, разработанный автором диссертации и применяемый для численного решения исследуемых в диссертации задач оптимизации.

В параграфе 5.2 приведены аспекты численной реализации рассматриваемых задач, в частности описаны размерности и значения физических коэффициентов, область, в которой производилось численное моделирование, а также параметры расчетной сетки.

Параграф 5.3 посвящен описанию результатов численных экспериментов по решению задач оптимизации, описанных во второй и третьей главах диссертации. Эти результаты проиллюстрировали эффективность предложенных алгоритмов и основные теоретические положения исследуемых задач.

В заключении приведены основные выводы и результаты работы.

Диссертационная работа Новикова Ивана Сергеевича оформлена в соответствии с требованиями ВАК, она выполнена на высоком научном уровне и представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации, а также ее основные положения.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.18, в частности, следующим пунктам:

3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.

4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

7. Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе его математической модели.

Недостатки диссертации.

1. Параметр регуляризации, используемый в параграфе 1.2 главы 1 при формулировке класса задач оптимального о локальных источниках при интегральном наблюдении, назван «параметром регуляризации Тихонова», однако на самом деле он таковым не является. Решение регуляризованной задачи в обобщенной форме «в смысле наименьших квадратов», рассматриваемой в данной диссертации, обладает теми же свойствами, что и решение задачи, «классически» регуляризованной по Тихонову. Поэтому корректнее данный параметр было бы назвать просто «параметром регуляризации». Также, свойства регуляризованной задачи и ее решения обсуждены не в самой диссертации, а лишь в публикациях (монографиях), связанных с ней.

2. В параграфе 1.3 главы 1, помимо основного алгоритма решения класса задач оптимального управления (позволяющего вычислять «управления» по аналитической формуле), приведены два итерационных алгоритма решения того же класса задач. Однако здесь не описан анализ сходимости этих алгоритмов.

3. В диссертации нигде не обсужден вопрос выбора параметра регуляризации для численного решения задачи оптимизации экономического ущерба с учетом ресурсов на устранение источников загрязнений.

Подчеркнем, что перечисленные недостатки несколько не умаляют ценности полученных в работе результатов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.



На основе сказанного выше, диссертация Новикова Ивана Сергеевича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение класса задач оптимального управления о локальных источниках при интегральном наблюдении, имеющего важное значение для развития методов теории оптимального управления, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент:
д.ф.-м.н., профессор,
ФГБОУ ВПО «Бурятский государственный университет»,
Научно-образовательный и инновационный центр
системных исследований автоматизации, директор
Булдаев Александр Сергеевич

26.02.2016 

Адрес: 670000, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ,
ул. Смолина, д. 24 «а»
Телефон: (3012) 221215
E-mail: buldaev@mail.ru




зав. общим отделом БГУ 
Иван Григорьевич
Михайлов 26.02.2016 г.