

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИГиЛ СО РАН

д.ф.-м. н. С.В. Головин

17.03 2016г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Лобанова Алексея Викторовича «Теоретический и численный анализ в задачах маскировки материальных тел методом волнового обтекания», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Представленная на отзыв диссертация изложена на 136 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 160 наименований; содержит 31 рисунок и 30 таблиц.

*Актуальность работы* определяется необходимостью в разработке методов решения задач маскировки материальных тел, позволяющих минимизировать возможности обнаружения объекта к волнам различной природы. Один из способов маскировки состоит в том, чтобы скрываемый объект поместить внутрь специальной материальной оболочки, действие которой сводится к искривлению направления распространения волн так, чтобы происходило плавное огибание объекта. Тогда внешне всё выглядит так, как будто на пути волны ничего не было, т.е. наблюдатель вместо объекта, защищенного маскировочной оболочкой, увидит пустое пространство позади неё. Нужно отметить, что техническая реализация решений задач маскировки связана со значительными трудностями. Чтобы упростить проблему технической реализации полученных решений, задачу построения точной маскировочной оболочки часто заменяют приближенной



задачей построения слабо рассеивающей оболочки. Существует несколько способов замены задачи точной маскировки задачей приближенной маскировки. Некоторые из них анализируются в данной диссертации. Поэтому работа Лобанова А.В., посвященная решению указанной проблемы, является актуальной.

*Краткий обзор содержания работы.* Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована ее основная цель и конкретные задачи исследования, представлены научные положения, выносимые на защиту, а также кратко перечислены основные теоретические и практические результаты.

**Первая глава** посвящена теоретическому исследованию модельной задачи маскировки для 2D уравнения Гельмгольца, рассматриваемого в ограниченной области при однородном условии Дирихле на одной части границы и неоднородном импедансном граничном условии на другой части границы. Роль управления играет функция, входящая в импедансное граничное условие на покрытой части границы. Доказывается разрешимость как исходной смешанной краевой задачи для уравнения Гельмгольца, так и задачи управления. Устанавливается единственность и устойчивость оптимальных решений относительно малых возмущений как функционала качества, так и одной из заданных функций.

Во **второй главе** исследуются задачи управления для двумерной модели электромагнитного поля, описывающей рассеяние электромагнитных волн в неограниченной однородной среде, содержащей анизотропное проницаемое включение с частично покрытой (в целях маскировки) границей. Роль управления играет функция, входящая в импедансное граничное условие на покрытой части границы. Доказывается разрешимость как исходной смешанной задачи сопряжения для двумерного уравнения Гельмгольца, так и задачи управления. Выводится система оптимальности, описывающая необходимые условия экстремума, устанавливается



единственность и устойчивость оптимальных решений относительно определенных возмущений функционала качества и падающей волны.

**Третья глава** посвящена теоретическому исследованию задачи маскировки для трехмерной модели рассеяния акустических волн на неоднородном проницаемом препятствии. С помощью оптимизационного метода указанные задачи сводятся к обратным экстремальным задачам, в которых роль управлений играют переменный индекс рефракции и плотность граничных источников звукового поля. Доказывается разрешимость указанных задач и выводятся системы оптимальности, описывающие необходимые условия экстремума. На основе их анализа устанавливаются достаточные условия на исходные данные, обеспечивающие единственность и устойчивость оптимальных решений.

**Четвертая глава** диссертации посвящена разработке эффективных численных алгоритмов решения двумерных задач маскировки и сравнительному анализу результатов проведенных вычислительных экспериментов, реализующих указанные алгоритмы. Сначала приводится формальная постановка задачи маскировки, заключающаяся в нахождении решения задачи рассеяния плоской волны на цилиндрической анизотропной оболочке с параметрами среды, определенными в работе (Z. Ruan et. al. 2007). Разрабатывается численный алгоритм, предназначенный для решения двумерных задач маскировки материальных тел. Предлагаются способы повышения эффективности маскировочной системы, в том числе за счет применения методов численной оптимизации. Исследуется зависимость решений от различных параметров, входящих в исходную задачу маскировки: частоты падающей плоской волны, а также размеров и количества слоев в случае слоистой маскировочной оболочки, параметров среды, заполняющей маскировочное устройство.

*Практическая значимость диссертации* заключается в том, что автором диссертации разработаны и исследованы численные алгоритмы решения



двумерных задач маскировки материальных тел на основе волнового обтекания, которые реализованы в виде комплекса программ. Особо важную практическую ценность имеют разработанные алгоритмы, которые могут быть использованы для решения как рассматриваемых задач маскировки, так и близких обратных задач акустического и электромагнитного рассеяния.

*Научная новизна работы* заключается в разработке математического аппарата исследования задач маскировки, основанного на оптимизационном методе решения обратных задач для уравнения Гельмгольца. Доказаны теоремы о корректной разрешимости задач маскировки, получены системы оптимальности, доказаны теоремы единственности и устойчивости решений задач маскировки как в двумерном, так и трехмерном случаях. Значимость полученных результатов состоит в том, что в диссертации реализован высокоточный метод сингулярного разложения для решения систем линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов разложений искомого решения в виде полей в рассматриваемых областях. Подтверждением научной и практической значимости результатов диссертации для развития соответствующей отрасли науки является проведение исследований в рамках грантов РФФИ, РНФ и гранта Министерства образования и науки РФ.

*Достоверность и обоснованность основных результатов работы.* Обоснованность научных положений и выводов, содержащихся в диссертации, достигается тем, что основные научные результаты базируются на корректном использовании методов математического моделирования, методов математической физики, методов численного анализа, методов теории некорректных и обратных задач, оптимального управления. Полученные с помощью вычислительных экспериментов результаты подтверждаются сравнением с результатами ряда опубликованных работ, ссылки на которые можно найти в списке источников диссертационной работы.



## *Рекомендации по использованию результатов работы и выводов диссертации*

1. Считаю целесообразным дальнейшее продолжение исследований экстремальных задач для моделей акустического и электромагнитного рассеяния, возникающих при разработке технологий дизайна средств маскировки материальных тел методом волнового обтекания.

2. Рекомендую изучение возможностей использования оптимизационного метода для решения других классов задач маскировки. К ним следует отнести, с одной стороны, класс многочастотных задач пассивной маскировки, а с другой стороны -- класс смешанных задач, основанный на совместном использовании пассивных и активных средств маскировки.

*Общая оценка работы.* Диссертация А.В. Лобанова «Теоретический и численный анализ в задачах маскировки материальных тел методом волнового обтекания» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится обоснованное решение задачи разработки эффективной совокупности математических моделей, численных методов и комплексов программ, предназначенных для теоретического и численного анализа задач маскировки материальных тел на основе методов оптимизации и решения обратных задач для моделей рассеяния волн.

Вместе с тем диссертация не лишена недостатков.

1. Первое общее замечание по моделям, рассматриваемым в диссертации, состоит в том, что каждая из них отвечает лишь маскировке тела относительно заданной (фиксированной) частоты. Поскольку частота сигнала заранее неизвестна, то для маскировки объекта каждый раз фактически потребуется решать не одну, а достаточно большое число задач, отвечающих набору используемых частот. Решение каждой



конкретной задачи, об анализе которой идет речь в диссертации, представляет лишь ограниченный интерес.

2. Второе замечание относится к разрешимости прямой краевой задачи (1.1), (1.2). На стр. 23 автор пишет, что разрешимость этой задачи была доказана F. Sasoni et. al. в 2001г. Далее на стр. 24 автор тем не менее проводит доказательство этой разрешимости. Не очень ясно, какое отношение это доказательство имеет к результатам F. Sasoni. Как выясняется далее, фактически автору для дальнейшего анализа требуется оценка (1.16) с постоянной  $c_\lambda$ , равномерной при ограниченных значениях  $\lambda$ . Однако об этом автор умалчивает. Кроме того, при формулировке теоремы существования на стр. 26 используется множество  $L_{\lambda_0}^\infty(\Gamma_l)$ , определение которого можно найти лишь далее на стр. 42. При этом автор называет введенное на стр. 42 множество пространством, которое таковым не является.

Аналогичное замечание имеет место при доказательстве разрешимости и его связи с результатами F. Sasoni et. al. для прямой задачи (2.1)-(2.3) в главе 2. Автор пишет, что доказательство разрешимости задачи было установлено F. Sasoni. Вместе с тем в диссертации доказательство приводится, причем результат сформулирован в виде теоремы.

3. При формулировке задачи сопряжения (2.1)-(2.3) автор не отмечает, что в разложении искомой функции  $u = u^{inc} + u^s$  величина  $u^{inc}$  является заданной. У читателя складывается впечатление, что требуется найти как  $u^{inc}$ , так и  $u^s$ . Лишь при дальнейшем чтении и формулировке соответствующих утверждений становится понятно, что функция  $u^{inc}$  является заданной, так что искомой является функция  $u^s$ .


4. При формулировке обратных задач в разделах 1.3, 2.4, 3.3 указано, что функционал качества зависит как от истинных значений функций управления  $\lambda, \eta, (\eta, g)$ , так и от решения краевой задачи при заданных функциях управления. В то же время решение краевой задачи однозначно определяется истинными значениями функций управления. Это означает, что функционал качества фактически зависит лишь от функций управления. Необходимость формулировки функционала качества в указанном виде остается неясным, и этот вопрос в диссертации не обсуждается.

5. На стр. 16 отмечено, что результаты, составляющие содержание диссертации, получены автором самостоятельно. Поскольку практически все опубликованные по теме диссертации статьи имеют

соавторов, то остается неясным вклад соавторов в написание этих статей.

Указанные замечания не отражаются на общей положительной оценке диссертации. Принимая во внимание актуальность темы, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, считаем, что диссертация «Теоретический и численный анализ в задачах маскировки материальных тел методом волнового обтекания» удовлетворяет требованиям п. 9-11, 13 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Лобанов Алексей Викторович, заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Результаты диссертационной работы Лобанова А.В рассмотрены на заседании семинара отдела прикладной гидродинамики ИГиЛ СО РАН, протокол № 4 от 16.03.2016.



Александр Михайлович Хлуднев, доктор физико-математических наук, специальность 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление  
Заведующий лабораторией гидроаэроупругости отдела прикладной гидродинамики ИГиЛ СО РАН.  
630090, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, д. 15,  
тел. +7 (383) 333-31-23, e-mail: khlud@hydro.nsc.ru,  
<http://www.hydro.nsc.ru>.

