

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут математики, економіки і механіки  
(повне найменування інституту/факультету)

Кафедра теоретичної механіки  
(повна назва кафедри)

## Дипломна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Чисельне моделювання в задачах двовимірної нестационарної газової динаміки»

«Численное моделирование в задачах двумерной нестационарной газовой динамики»  
«Numerical modeling in problems of two-dimensional unsteady gas flows»

Виконав: студент денної форми навчання  
напряму підготовки 8.04020201 Теоретична та прикладна механіка  
Видишев Денис Юрійович

Керівник Професор Асланов С.К.



Рецензент Старший викладач Царенко О.П.



Рекомендовано до захисту:  
Протокол засідання кафедри  
№ 10 від 13 червня 2016 р.

Захищено на засіданні ЕК № 2  
протокол № від 2016 р.  
Оцінка добре / 13 / 85  
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Завідувач кафедри



(підпис)

д.ф.-м. наук, проф.

Асланов С.К.

Голова ЕК



(підпис)

д. техн. наук, проф.

Волков В.Е.

Одеса – 2016

## Введение

Разработка прикладного программного обеспечения (ППО), предназначенного для проведения численных экспериментов, всегда непосредственно связана с особенностями конкретной физико-технической задачи.

Поэтому разработчик научно-ориентированного ППО должен владеть как фундаментальными знаниями в области физики процесса, который рассматривается, так и должен быть грамотным программистом, который имеет опыт реализации подобных численных методов.

Универсальность такого специалиста очень часто приводила к тому, что им создавалась конкретная, чаще всего – консольная программа, управлять кодом которой и ее входными данными, а также обрабатывать полученные результаты, мог только сам автор (программист).

Такая практика разработки ППО перестала отвечать современным запросам экологических, конструкторских, проектных и консалтинговых организаций, которым нужны быстрые экспертные оценки и прогнозы по прикладной реализации тех или иных решений, связанных с физическими явлениями сложной природы.

Другими словами, актуальным стал вопрос о разработке и внедрении в научно-исследовательскую среду компьютерных программ, нацеленных на пользователя, который имеет сервисы и интерфейсы, которые позволяют получить конкретные числовые результаты в форме законченной экспертной оценки.

Универсальные пакеты, которые сегодня доступны на рынке ППО, как правило, очень дорогие и требуют много времени на обучения персонала.

Модификация таких пакетов под конкретную физическую задачу практически невозможна, не говоря уже о внесении каких-либо изменений непосредственно в код вычислительной части. Управлять временем выполнения или изменять порядок этапов численного эксперимента тут также невозможно.

Учитывая все выше сказанное, эта магистерская работа была нацелена на разработку методики (технологии) численного эксперимента, что моделирует класс нестационарных газодинамических задач о распространении ударных и взрывных волн в замкнутом пространстве.

Актуальность данной темы подчеркивается техногенными катастрофами, причинёнными выбросами и взрывами топливно-воздушных смесей, случаи которых участились как на производстве, так и в жилищно-коммунальном секторе.

Причиной этого может быть изношенность оборудования, неквалифицированные действия рабочего персонала и самих жильцов, которые не придерживались правил техники безопасности, или одновременная реализация цепочки случайных событий.

Верная экспертная оценка последствий таких событий может дать ответ на вопрос о возможной причине катастрофы, которая случилась, так и указать пути реализации действия, которое сделает подобные случаи маловероятными.

Исследования, которые были проведены на кафедре теоретической механики ОНУ имени И.И. Мечникова, показали, что, во-первых, задание входных данных для численного эксперимента и непосредственное вычисления должны выполняться в рамках одного Windows-приложения, а обработка результатов – с помощью отдельной программы. Во-вторых, обработка должна носить универсальный характер, и не зависеть от конкретного численного эксперимента.

Одним из ключевых принципов в данной работе было тестирование всех программных компонентов, которые реализуют использованные алгоритмы и численные методы.

Такое предыдущее тестирование и открытость его данных должно убедить конечного пользователя ППО в том, что полученный им собственный результат есть, во-первых, физически корректным и таким, что отвечает заданной погрешности вычислений, во-вторых.

Эта магистерская работа посвящена компьютерному моделированию и реализации численного эксперимента, который направлен на исследование процесса разлёта газового объема, созданного продуктами энерговыделения, в атмосферную среду и взаимодействие взрывных волн с твердыми объектами.

Постановка подобных натуральных экспериментов в реальных физических условиях будет долгой и требующей значительных экономических и материальных ресурсов. При этом результаты, полученные в ходе численного эксперимента, по точности и корректности не уступают данным, взятым с натуральных экспериментов, а преимущество численного эксперимента с экономической точки зрения очевидно.

Основной вычислительный алгоритм численного эксперимента построен по схеме Годунова на равномерной неподвижной эйлеровой сетке.

Этот метод широко известен благодаря качественному преимуществу в данном классе задач перед другими конечно-разностными методами.

Алгоритм этого метода был формализован таким образом, что пространственная мерность конкретной задачи учитывается лишь путем выбора соответствующих процедур из разработанной библиотеки.

В результате численного эксперимента мы должны получить исчерпывающую информацию о распределении давления в каждой точке области вычисления в каждый момент времени.

На основе этой информации мы будем способны вычислить параметры ударно-волнового действия взрывной волны на различные объекты.

Данные, полученные в ходе эксперимента, должны быть сохранены в формате, который может быть прочитан и обработан другой программой, которая их проанализирует.

Для разработки ППО использована среда программирования **MS Visual Studio** и современный язык программирования **C#**.

Особенностью данного подхода было использование преимуществ объектно-ориентированного подхода при формировании алгоритма расчета двумерных задач на основе метода Годунова.

Коды основных программных компонентов приведены в приложениях.

## Выводы

В ходе выполнения данной дипломной работы были повторно изучены основы нестационарной газовой динамики, повторены определенные разделы курса численных методов в механике и основы объектно-ориентированного программирования (включая язык программирования C#).

Самостоятельно изучены основы и особенности метода С.К.Годунова, предназначенного для решения широкого класса задач нестационарной газовой динамики.

Для успешной реализации основной идеи метода Годунова – использования решения задачи о распаде произвольного газового разрыва для вычисления потоков массы, импульса и энергии через поверхность раздела газовых ячеек – была изучена сама задача о РПР и создан алгоритм ее решения для произвольных значений параметров газа на разрыве.

Решение задачи о РПР было оформлено в виде алгоритма, а затем выполнено в виде программного компонента для размерной и безразмерной форм ее параметров.

Полученные результаты вычислений сравнивались с имеющимися результатами, полученными ранее в рамках других приложений.

Основная задача данной дипломной работы состояла в применении идей и принципов объектно-ориентированного программирования для осуществления вычислений в рамках конечно-разностной расчетной схемы для двумерной нестационарной задачи газовой динамики «о разлете газового шара в замкнутом объеме».

Это потребовало организации специального класса «газовая 2D ячейка», разработки его методов и конструкторов, учитывающих специфику решаемой задачи.

Метод Годунова в его программной реализации является весьма трудоемким методом, а сама программа оказывается ресурсоемкой (большие объемы данных и большое время реального расчета).

Поэтому необходимо было так организовать вычислительный процесс, чтобы сократить время расчета одного варианта задачи.

Для этого процедуры распадов разрывов программировались для «виртуальных» ячеек, которые прикреплялись к реальным разделам памяти «по

ссылке» и после этого производились вычисления потоков массы, импульса и энергии.

Для моделирования этого вычислительного процесса было создано отдельное приложение, которое моделировало основные черты схемы Годунова.

Проверка работы тестового приложения была выполнена при помощи электронных таблиц типа MS Excel.

Результаты подтвердили корректность предлагаемого алгоритма осуществления расчета для двумерной задачи газовой динамики.

Большой промежуток времени, затраченный на освоение теории и принципов метода Годунова, не позволил до конца выполнить задание на дипломную работу.

Однако основные элементы расчетной программы выполнены и протестированы в полном объеме, и представлены в Приложении.

Применение объектно-ориентированного подхода и языка программирования C# позволили наглядным образом отобразить в программном коде основные идеи метода Годунова и его конечно-разностной схемы.



## Список литературы

1. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я. *Численное решение многомерных задач газовой динамики*. – М.: Наука, 1976. – 400 с.
2. Атанов Г.А. *Газовая динамика*. – К.: Вища школа, 1991. – 359 с.
3. Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. *Системы квазилинейных уравнений и их приложения в газовой динамике*. – М.: Наука, 1974. – 592с.
4. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газов*. – М.: Наука, 1978. – 736 с.
5. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. *Теоретическая гидромеханика*. – М.: Физматгиз, 1963. – 573 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Гидродинамика*. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
7. Станюкович К.П. *Нестационарные движения сплошной среды*. – М.: Наука, 1971. – 854 с.
8. *Физика взрыва* / Ф.А. Баум, Л.П. Орленок, К.П. Станюкович и др. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
9. Черный Г.Г. *Газовая динамика*. – М.: Наука, 1988. – 424 с.
10. Бейкер У., Кокс П. *Взрывные явления. Оценка и последствия*. – М.: Мир, 1986. – 319с.
11. Когарко С.М., Адушкин В.В., Лямин А.Г. *Исследование сферической детонации газовых смесей* // Научно-технические проблемы горения и взрыва (ФГВ). – 1965. – №2. – с. 22–24.
12. Асланов С.К., Голинский О.С. *Интегральная теория взрывных волн*. – К., 1993. –30 с. (Препр./ НАН України. Ін-т геофізики).
13. Асланов С.К., Драгуновский Н.Н., Царенко А.П. *Математическое моделирование процесса воздействия взрывной волны на объекты* // Вісник Одеського державного університету. – 2003. – Т.8. Випуск 2., С. 156–162.
14. Гирин А.Г., Абрамова А.В. *Исследование динамики взрывных волн методами численного эксперимента*. // Физика аэродисперсных систем. – Одесса “Астропринт” 2004. – Выпуск 41., С. 249–264.
15. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. *Метод крупных частиц в газовой динамике*. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 392 с.
16. Эндрю Троелсен. *Язык программирования C# 2005 и платформа .NET 2.0*, 3-е издание.: Пер. С англ.. – М.: ООО “И.Д. Вильямс”, 2007. – 1168 с.