

Технология моделирования физических и математических задач предметных областей знаний

Лаврищева Е.М.;

Петров И.Б.

Иванников Институт Системного программирования РАН;
Московский Физико-технический институт (МФТИ)

Аннотация. Представлено моделирование физических и математических задач, их алгоритмизацию и программирование для решения на компьютерах. Дается характеристика численного моделирования физико-технических задач и прикладной математики: физико-технических экспериментов, энергетических, баллистических и сейсмических методов И.В. Курчатова, начиная с математических методов 17-20 вв., первых ЭВМ и компьютеров. Рассмотрены численные методы решения физико-технических задач, реализованные под руководством академиков А.А. Самарского, О.М. Белоцерковского и других ученых на современных суперкомпьютерах. Приведено математическое моделирование биологической задачи лечения глаз и предмета «Вычислительной геометрии» в среде Интернет. Показан современный аппарат компьютеризации технических и программных средств, близкий к нанотехнологиям.

Ключевые слова: математика, модель, моделирование, алгоритм, граф, области знаний, биология, геометрия.

Technology of modeling of physical and mathematical problems of applied fields of knowledge

Lavrishcheva E. M.;

Petrov I.B.

Ivannikov Institute of System Programming of the Russian Academy of Sciences
Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT)

Annotation. Modeling of physical and mathematical problems, their algorithmization and programming for solving on computers is presented. The article describes the numerical modeling of physic-technical problems and applied mathematics: physical and technical experiments, energy, ballistic and seismic methods of I. V. Kurchatov, starting with the mathematical methods of the 17th and 20th centuries, the first computers and computers. Numerical methods for solving physic-technical problems implemented under the leadership of academicians A. A. Samarsky, O. M. Belotserkovsky and other scientists on modern supercomputers are considered. The mathematical modeling of the biological problem of eye treatment and the subject of "Computational Geometry" in the Internet environment are given. The modern device of computerization of technical and software tools, close to nano technologies, is shown.

Keywords: mathematics, model, modeling, algorithm, graph, fields of knowledge, biology, geometry.

Введение

1. Становление моделирования техники и математики

1.1. Моделирование технических и прикладных средств

Понятие модель первоначально сформировалось в 1613 году при строительстве зданий в Древней Греции в виде образца здания и модели математической задачи Аль Хорезми и Ньютона, включая численные расчеты с помощью логических операций алгоритмов задач на аналитических машинах. Моделирование техники развивалось долгие годы в строительстве зданий, мостов, лодок, самолетов и др. Техническая модель отражала структурную сущность технического предмета или явления и связей отдельных его элементов. В 18-19 веке в России созданы такие технические средства, как радио, телефон, самолет, автомобиль и др. Значительный подъем технических средств и задач прикладной математики произошел после окончания Великой Отечественной войны (ВОВ) 1945 года по следующим направлениям развития:

- передовые систем вооружений, обусловленные ходом ВОВ;
- гонка вооружений между СССР и США;
- ядерной программы И.В. Курчатова после атомного взрыва в Хирасимо и Нагасаки;
- ракетостроение, аэродинамические, баллистические и прочностные численные расчеты;
- электронная техника, радиосвязь и численное решение уравнений Ньютона, Лейбница, Максвелла и др.;
- активная разведка, добыча нефти и газа в нашей стране.

Моделирование физико-технических и математических задач проводилось в рамках передовых систем вооружений ВПК с 1945 г. после подписания Акта победы 9 мая. Министерство Радиопромышленности СССР создало программу развития радиотехнических и радиофизических приборов с обеспечением высокого качества и безопасности. В рамках ВПК создавались специализированные устройства и средства баллистического, радиотехнического, радиолокационного, авиационного, космического назначения. Была создана атомная

бомба и космический корабль с Ю.Гагарином на борту (1960). Весь мир был поражен уровню достижений советской науки.

Начиная с появления первых ЭВМ (1948) в рамках ВПК было создано более 100 средств ВТ, специализированных ЭВМ (ПРА-6.0, МАПА, АРГОН, АОУ6 и др.), а также радиолокационная техника для наведения и слежения за движением военных самолетов, подводных лодок, ракет, кораблей и др. Кроме того созданы программные комплексы ПРОТВА, ЯУЗА, РУЗА, ПРОМЕТЕЙ для реализации военно-технических задач*. По многим институтам РАН проводилось моделирование и программирование задач предметных областей знаний.*

* Липаева В.В. Фрагменты истории развития отечественного программирования для специализированных ЭВМ в 50–80-е годы. М.: Синтег, 2003. 126 с.); * Методы и средства моделирования программных и операционных систем с обеспечением надежности // Кол. авторов проекта РФФИ 16-01-00352.-ИСП РАН 2020.-175с.

1.1.1. Моделирование задач прикладной математики

Академик А.А.Самарский проводил моделирование задач прикладной математики согласно концептуальной модели предметной области знаний:

$KM = \langle X, R, F \rangle$, где X – конечное множество понятий предметной области; R – конечное множество существенных отношений (связей) между понятиями предметной области; F – конечное множество функциональных алгоритмов задач предметной области.

KM модель служит для задания информации о понятиях предметной области в виде сущностей, которые сохраняются в тезаурусе со связями между ними.

Алгоритмизация модели состоит в отображении алгоритма задачи с помощью математических операций над ее элементами для выполнения на компьютере. Первоначально такие модели реализовывались через простые формулы на аналитических машинах и потом на ЭВМ*. Разработаны математические модели закона сохранения энергии, импульсов, зарядов и частиц, модели уравнения механики сплошных сред, электродинамики Максвелла, Больцмана для разреженного газа, кванто-механического уравнения Шредингера, модель для закона сохранения энергии Фурье (100 лет назад) и для нелинейного случая. Реализованы математические задачи методом моделирования в классе климатических, космических, геофизических, сейсмических, термодинамических, радиолокационных, акустических медицинских, биологических, химических и физических задач.

*Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 с. А.А.Самарский. Компьютер и жизнь. Математическое моделирование. –Москва.- 1982.-127с. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М.: Наука.Физматлит, 1992. 423 с. Мюррей Дж. Математическая биология. Т. 1. М.: Ижевск. 2001. 774 с.

1.1.2. Моделирование физических экспериментов с помощью экспертных систем

О.М.Белоцерковский и С.К. Годунов проводили физические эксперименты, путем выделения характерные свойства физического явления, алгоритмизации этих свойств и характеристик в виде простых формул и операций в программах решения задач математической физики, нелинейной механики и сплошных сред и др. на ЭВМ. Одной из первой вычислительной задачи была задача о ядерном взрыве и обтекании затопленных тел потоком сверхзвукового газа. Исследование физических объектов проводилось путем анализа и выбора схем эксперимента для определения элементов физических устройства. Затем составлялась разностная схема и проверка ее устойчивости.*

Разработка рациональных численных моделей проводилась с помощью интеллектуальных гибридных экспертных систем для прогнозирования поведения объектов и распознавания образов объектов с учетом временных интервалов.

Проблема интеллектуализации экспертных систем при решении задач поиска динамических инвариантов при моделировании численных задач в механике сплошных сред с помощью метода дискретных вихрей, Монте-Карла, метода неопределенных коэффициентов стационарных методов и расщепления физических процессов с сильно изменяющимися границами области интегрирования.

*О.М. Белоцерковский. Численное моделирование в механике сплошных сред. –Изд-во Физ.-мат.литературы, 1994.-441с. Белоцерковский О.М., Холодов А. С. Медицина в зеркале информатики. М.: Наука. 2008. 242 с.; Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 с.).

1.1.2. Теория графового моделирования задач техники и математики

Впервые теория графов была открыта Эйлером в 1736 г. и описана в статье про строительство Кенигсбергских мостов. В течение почти ста лет эта теория мало использовалась. Интерес к теории графов возродился в середине XIX в связи с развитием естественных наук (электрических сетей, моделей кристаллов, структур молекул и др.) и математической логики. Решение многих математических головоломок, шахматных задач формулировались в терминах графовой теории.

Последние 50 лет ознаменовались использованием теории графов в атомной энергетике, нейронных, нанобиологических, генетических, геофизических, космических задачах и в других предметных областях знаний. Например, физический эксперимент Европейского проекта «Коллайдер» (150 стран), Ядерный реактор, компьютеры, информатика, телекоммуникация, экономика и др.

Теория графов в программировании начала развиваться в МГУ А.С.Ляпуновым, в НГУ А.П. Ершова (Касьянов В.И, Иткин В.Э., Евстигнеев А.А. и др.) и в ИК В.М.Глушкова. (ЛаврищеваЕ.М., Грищенко В.Н.). Эта теория активно развивается в компьютерных науках и в моделировании систем. Математический аппарат инцидентности и смежности используется для доказательства графовых, нейрографовых структур и др.(Апонович З.И.

НГУ, Лаврищева Е.М. МФТИ). Графовые структуры используются при проведении физических экспериментов, информационных, интеллектуальных систем и др.

В ИСП РАН графовая теория применялась для моделирования вариантов OS Linux с обеспечением надежности.*

*Лягунов А.С. Граф-схемы программ.- Москва.-1958. Котов В. Е., Введение в теорию схем программ, Новосибирск, 1978.

Ершов А. П., Введение в теоретическое программирование М., 1977.

Лаврищева Е.М., Грищенко В.Н. Связь разноразличных модулей в ОС ЕС 1980; Сборочное программирование, 1991.-К. 284с.

Грис Д. Наука программирования. – М.: Мир. –1984;

Оре О. Теория графов.-М.: Наука.-1968.

Рамбо Дж, Джекобсон А., Буч Г. UML: специальный справочник.- СПб.: Питер, 2002.- 656с.

Грис Д. Наука программирования. – М.: Мир. –1984.

Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я. Серия монографий в 3 книгах: М.: Научтехиздат. 2015. – 540с.

Апонович З.В. Визуализация больших графов и матрица смежности.-Абрау-2018.-17с.

1.1.4. Алгоритмизация и программирование прикладных задач

Алгоритмизация математических и физических задач проводилась путем декомпозиция элементов модели на отдельные элементарные функции и их представления средствами теории алгоритмов для формального описания алгоритмов аппаратом математической логики, граф-схемного языка А.А.Ляпунова, адресного языка В.С.Королюка и Е.Л.Ющенко (1955) и ЯП с 1960г. Алгоритмы задач некоторых математических задач были реализованы в виде стандартных математических подпрограмм для Библиотек первых ЭВМ.

Алгоритм метода Адамса-Штермера/Дирихле был представлен отдельными элементарными математическими операциями, отработан на МЭСМ и оформлен стандартной подпрограммой (В.М.Глушков. Об одном методе автоматизации программирования». - М.: Проблемы кибернетики, 1957, №2.-с.181-184).

Первая Библиотека стандартных математических подпрограмм ИС-2 для М20 создана в МГУ (Е.А.Жоголев, Г.С.Росляков, Н.П.Трифонов, М.Р.Шура-Бура. Система стандартных подпрограмм, 1958.- ГИФМЛ.-231с.) и др.

Алгоритмизация задач прикладной математики для первых ЭВМ проводилось с использованием теории граф-схемного языка А.А.Ляпунова (1955). В этом языке проводилось описание математических элементов задач с помощью математических и логических операций и операторов перехода ориентированного графа с одной входной и одной выходной вершиной*. Граф задавал структуру алгоритма, в которой одна вершина – преобразователь и две вершины – распознаватели. Две граф-схемные программы функционально эквивалентны, если программы вычисляют одинаковые функции*.

*А.А.Ляпунов, О.С.Кулагина. Использование Вычислительных машин для перевода с одного языка на другой//Природа.-1955.-№8.-с.85-95.

В.М.Гнеденко, В.С.Королюк, Е.Л.Ющенко. Элементы программирования .-М.Физматнаук., 1961.-348с.

А.П.Ершова. Введение в теорию программирования.-М.:1977.-286с.

Лаврищева Е.М., ГрищенкоВ.Н. Связь разноразличных модулей в ОС ЕС.М.:1982.-137с.

1.1.5. Парадигма нанотехнологий для медицины, биологии и генетики

С самого начала Н. Винер сравнивал ЭВМ с живой клеткой. В ней молекула ДНК реализуются в долговременной памяти хромосома, состоящей из молекулы и РНК. Молекула ДНК представляет собой совокупность нуклидов, входящих в 46 хромосом клетки человека. Главным событием клетки ДНК является ее деление или синтез. Идею синтеза атомов в макроатомы с помощью специального программного сборщика предложил Р. Фейнман (1959). Он считал, что будут созданы миллионы миниатюрных заводиков, на которых "крошечные станки будут непрерывно штамповать маленькие детальки" для маленьких приборов, собирая в них макроэлементы, вещества и устройства. Эта идея привела к современной идее миниатюризации и получения новых макроэлементов для конкретного применения.

Маленькая частица названа нано частицей, которая имеет одно свойство, слипание (синтез) друг с другом, что приводит к образованию новых элементов типа нано. Синтез молекул белков ДНК приводит к образованию комплексной наноструктуры с новыми специфическими свойствам.

Нанотехнология – это технология производства, ориентированная на получение веществ и устройств с заранее заданной атомарной архитектурой (Э. Дреклер).

Атом – это $10^{-10} = 1$ нанометр (нм), а бактерии – это 10^{-9} нм. Частицы от 1 до 100 нанометров называют «наночастицами».

Наночастицы имеют одно свойство – слипание друг с другом – которое приводит к образованию новых агломератов (в медицине, биологии, керамике, металлургии и др.).

Минимальный нано элемент - чип созданный учеными в ряде стран Германии, Швейцарии, Италии и др, Взаимодействие компьютера с живыми клетками осуществляется с помощью поперечника 1 миллиметр, на котором размещены 16384 транзисторов и сотни конденсаторов. Транзисторы получают сигналы от клеток с помощью конденсаторов.

Специалисты предлагают привлечь нейронную технику чипов с использованием живых клеток. Американская лаборатория в Беркли и в Калифорнийском университете создали механизм совмещения клеток с чи-

пами и проведены генетические исследования клеток молекул ДНК для создания искусственных ДНК-систем. Создаются чипы-датчики для анализа загрязняющих среду веществ и испытания фармацевтических препаратов.

Микроэлектроника обеспечила создание микроэлементов, которые используются в ноутбуках, мобильных и многоядерных телефонах, цифровых фотоаппаратах, видеокамерах и др. Они широко используются в компьютерных и информационных технологиях.

Опыты и лабораторные работы по нанотехнологиям проводились под научным руководством специалистов МГУ, институтов стали и сплавов, электронной техники, концерна nanoиндустрии и др. Экспонаты общества «Умка» демонстрируют наноразвитие таких дисциплин, как физика, химия, биология и др. Сегодня это общество проводят международные интеллектуальные конференции (www.intelltct-cit.ru).

При создании ЭВМ “Киев-70” и УВК «Днепр-2» проводилась электронно-лучевая микрообработка технических элементов, способствующая электронной литографии для рассеивания электронных потоков и распределения энергии между различными видами атомных элементов и механизмов поддержки химических реакций. В них использовались электронные литографические субмикронные интегральные схемы размерами (0,5 – 0,7, ..., 0,3 микрона) и сверхвысокочастотные транзисторы (60 Герц), как нанозаготовки.

Существующие ИТ-технологии достигли своего развития и дают мировому сообществу новые возможности. Например, Skype-технологии позволили визуально общаться людям, видя друг друга; умные компьютеры и города и интеллектуальные системы. То есть нанотехнологии способствуют поддержке жизни на земле, улучшению здоровья людей, а также исследовать недра земли, океанов и атмосфер, чтобы создать жизненно-важные новые вещества из природных и **наукоемких природных частиц и элементов**.

2. Технология моделирования и программирования физико – технических и биологических задач в МФТИ

Для численного решения сложных физических задач, например, климатических задач, задач физики плазмы, электромагнитных полей, основанных на интегро-интерполяционных, сеточно-характеристических и вариационных методах в МФТИ сформировалась технология моделирования и программирования физико-технических задач в современных многопроцессорных системах:

- моделирование алгоритмов отдельных задач;
- формальное описание алгоритмов физических и математических задач;
- анализ используемых данных больших объемов (Big Data), используемых при вычислении задач в среде Cloud Computing;
- организация численного решения алгоритмизированных задач в процессорах;
- машинное обучение, информатизация и интеллектуализация.

Вопросы алгоритмизации задач были представлены в МФТИ В.П. Иванниковым, начиная с создания кафедры по системному программированию (1978). Им читались лекции по теории алгоритмов и программированию для отечественной БЭСМ-6, на которой он сделал несколько вариантов ОС (ОС- 68/Диспетчер 68 (Л.Н.Королев, В.П. Иванников и др.) МГУ, АС-6, Клос 1988 и др.). Вариант ОС-68 получил развитие в НД-70 и использовался для управления полетом космических аппаратов, баллистических и телеметрических программных комплексов более 20 лет. Дальнейшим развитием ОС под руководством Иванникова В.П. была система управления многомашинными комплексами АС-6, которая, кроме названных функций, выполняла объединение и взаимодействие разных рода ЭВМ (например, БЭСМ-6, УВК Днепр-1, 2 и др.) для одновременного выполнения сложных задач на разных ЭВМ.

2.1. Применение графических плат GPU для решения сейсмических, медицинских и биологических задач

Инструментарий CUDA использует графические платы GPU для решения задач, математической физики. Такие платы получили название GPGPU (general purpose computing on graphics processing units). Графические платы GPGPU создавались для визуализации данных на вычислительных ядрах гибридных (гетерогенных) узлов, в которых соединены процессоры общего назначения GPU и GPGPU на гибридных суперкомпьютерах. В комбинации с процессорами общего назначения графические платы обеспечивают переработку больших массивов информации Big Data, используемых при решении задач аэромеханики летательных аппаратов, атомной энергетики, глобальной сейсмологии и задач, связанных с освоением запасов нефти и газа в условиях Севера и Арктики.

Важнейшей проблемой, решаемой с помощью высокопроизводительных вычислительных систем, является сейсмо- и электроразведка углеводородов в шельфовых зонах российских северных морей. Суперкомпьютерное моделирование с графическими платами позволяют визуализировать операции в медицине и в биологических объектах*.

*Murray J. Mathematical biology. Т. 1. М.: Izhevsk. 2001. 774 с. (Мюррей Дж. Математическая биология. Т. 1. М.: Ижевск. 2001. 774 с.).

Марчук Г.И. Математические модели в иммунологии. М.: Наука, 1985. 239 с.

Яковлев Н. Г. Математическое моделирование земной системы. М.: МАКС-Пресс, 2016. 328 с. Петров И.Б. Воздействие льда и воды на оффшорные структуры и прибрежные зоны в Арктике // Научно-технические проблемы освоения Арктики / Под ред. Н.П. Лаверова и др. М.: Наука. 2015. 490 с.

2.2. Численное моделирование динамических процессов в биологии

В работе “Математическое моделирование в медицине и биологии на основе моделей механики сплошных сред. (Труды МФТИ, т. 1, №1, 2009г., с. 5-16. Петров И.Б. и др.) описана теория моделирования механики сплошной среды применительно к задаче лечения катаракты глаза.* Сущность данной теории состоит в проведении

офтальмологической операции по удалению катаракты. Катаракта – это заболевание глаз человека, связанное с помутнением хрусталика. Единственным способом его лечения является удаление хрусталика. Различались интракапсулярное и экстракапсулярное удаление катаракты. В первом случае хрусталик удаляют вместе с капсулой, в которой он находится, а при втором удаляют только хрусталик, а капсула остается в глазу. Среди экстракапсулярных методик наиболее прогрессивной операцией является лазерная экстракция катаракты. Для ее проведения в глаз вводится иголка с расположенным в ней оптоволоконном. При диаметре прокола менее 3 мм можно обойтись без наложения швов. В этом случае могут возникнуть побочные явления и послеоперационные осложнения. Во время лазерного излучения выделяется тепло, воздействующее на роговицу. Кроме того, происходит быстрое расширение хрусталика, имеющее характер микроразрыва. Это приводит к появлению возмущений в биосреде глаза, распространяющихся к его границам, в частности, к сетчатке, что делает ее зоной риска.

Для проведения операции было проведено моделирование численные характеристик происходящих динамических процессов для проведения лазерной экстракции катаракты. На волновую картину оказывают влияние появление отраженных волн от свободной границы глаза и границ материалов глаза.

Глаз имеет не совсем правильную шаровидную форму (рис.1). Длина его сагиттальной оси в среднем равны 24 мм, горизонтальной – 23,6, вертикальной – 23,3 мм. Глазное яблоко состоит из трех оболочек: наружной, или фибриозной; средней, или сосудистой; внутренней, или сетчатки. Наружная оболочка достаточно тонкая (0,3 – 1 мм), но плотная. Она определяет форму глаза, выполняет защитную функцию места крепления глазодвигательных мышц. Фибриозная оболочка подразделяется на два неравных отдела – роговицу и склеру.

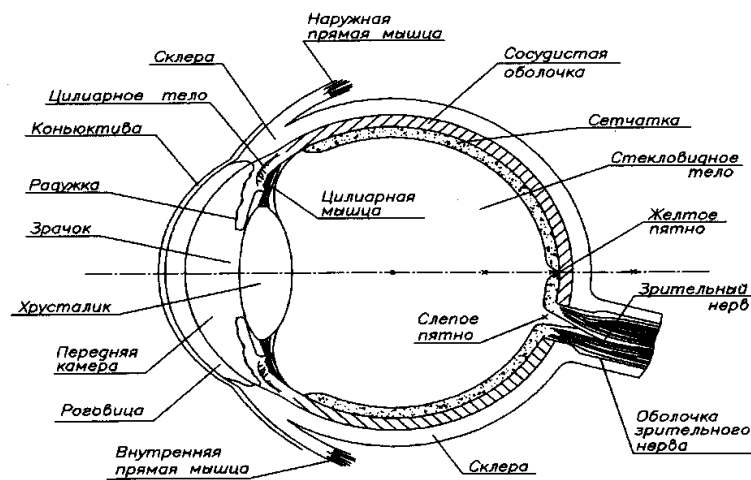


Рис. 1. Схема строения глаза человека

Внутреннее ядро глаза состоит из прозрачных светопреломляющих сред: стекловидного тела, хрусталика и водянистой влаги, наполняющей глазные камеры (передняя – от роговицы до радужки, задняя – от радужки до цилиарного тела). Водянистая влага представляет собой прозрачную жидкость плотностью 1,005–1,007 с показателем преломления 1,33. Количество влаги у человека не превышает 0,2–0,5 мл. Вырабатываемая цилиарным телом водянистая влага содержит соли, аскорбиновую кислоту, микроэлементы. Хрусталик состоит из хрусталиковых волокон, составляющих вещество хрусталика, и сумки-капсулы. Диаметр хрусталика 9–10 мм. Переднезадний размер – 3,5 мм. Стекловидное тело заполняет полость глазного яблока, за исключением передней и задней камер глаза, и таким образом способствует сохранению его формы [10, 16]. Объем стекловидного тела взрослого человека 4 мл. Оно состоит из плотного остова и жидкости, причем на долю воды приходится около 99% всего состава стекловидного тела. Физически стекловидное тело представляет собой прозрачный гель, состоящий из внеклеточной жидкости с коллагеном и гиалуровой кислотой в коллоидном растворе.

Частота импульсов лазера – 10 Гц, а сам импульс представляет собой цуг длительностью 250 мкс. с модулированной добротностью. Период микроимпульсов в цуге составляет 12,5 мкс, а длительность микроимпульса – 3 мкс. Обсчитывались только первые 250 мкс, поскольку полный расчет одного лазерного импульса потребовал бы сделать $2 \cdot 10^7$ итераций. Кроме того, интенсивность возмущения заметно затухает после прекращения воздействия. Под углом 60° к оптической оси глаза вводится световод, по которому в хрусталик вводится лазерное излучение.

Интенсивность лазерного излучения рассчитывалась по закону Ламберта-Бера: $Q(r, h) = I(r)e^{-h/h}$, $I(r) = I_0 e^{-(r/R)^2}$, где r – радиус облучаемой зоны, h – вертикальная координата, H – глубина поглощения ($H = 3.2$ мм), I_0 – интенсивность в центре световода, R – диаметр световода ($R = 0.3$ мм). Полная энергия излучения бралась 250 м. Для математического описания поведения биосреды глаза использовались уравнения динамики деформируемой среды в следующем виде

$\rho \dot{v}_i - \nabla_j \sigma_{ij} = 0; \quad i, j = 1, 2; \delta_{ij} = q_{ijkl} \dot{\epsilon}_{kk} - \frac{\gamma \delta_{ij}}{\rho c} Q - \frac{S_{ij}}{\tau_0}; \quad \dot{\theta} = -\frac{\gamma}{\rho c} \dot{\epsilon}_{kk} + \frac{S_{kl} S_{kl}}{\mu \tau_0} + \frac{Q}{\rho c}$ – здесь Q_0 – плотность объемных источников энергии, θ – коэффициент теплопроводности

$$q_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} - \frac{\gamma \sigma_{kl} \delta_{ij}}{\rho c} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{jk} \delta_{il}).$$

Физические константы для каждого элемента глаза полагались следующими (μ , λ – коэффициенты Лямэ, ρ – плотность, c – удельная теплоемкость, α – коэффициент линейного расширения, τ – время релаксации). На основании данной модели оптимизировались режимы работы лазера с тем, чтобы снизить травмирующее воздействие на ткани как переднего, так и заднего сегментов глаза. В целом возмущения в области хрусталика локализуются и ослабевают по мере удаления от внешнего источника. Это вполне согласуется с клиническими данными, так как заметных разрушений вне хрусталиковой сумки обычно не наблюдался. Более слабые, возмущения достигаются для сетчатки и зрительного нерва и области роговицы. На рисунке 2 приведены распределение скоростей частиц среды глаза в моменты времени $t_1 = 6,24$ мкс, когда возмущение достигло радужки, и $t_2 = 23,6$ мкс, при котором возмущение отразилось от задней поверхности глаза.

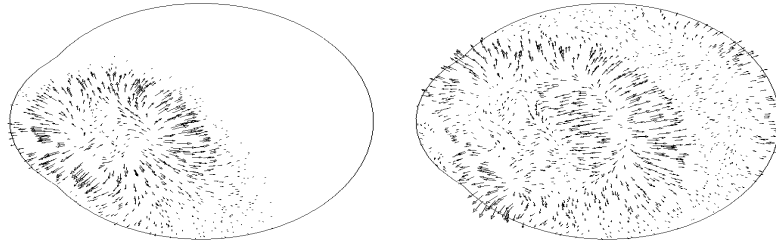


Рис. 2. Поле скоростей, интенсивность и направление скоростей частиц среды глаза в моменты времени: $t_1 = 6,24$ мкс и $t_2 = 23,6$ мкс.

Движение среды глаза имеет достаточно сложный характер. В начальный момент времени под воздействием внешнего источника идет расширение биосреды, после прекращения воздействия в зоне хрусталика давление становится меньше, чем в окружающих его областях. Это вызывает изменение направления скоростей на противоположные и как следствие – последующее сжатие глаза.

Во время операции глаз периодически расширялся и сжимался. При этом в зонах расширения возможны разрывы тканей и появление кавитационных процессов. Кроме того, на рассматриваемую волновую картину оказывают влияние появление отраженных волн от свободной границы глаза и границ материалов глаза (рис.2). На основании данной модели можно оптимизировать режимы работы лазера с тем, чтобы снизить травмирующее воздействие на ткани как переднего, так и заднего сегментов глаза. В целом возмущения в области хрусталика локализуются и ослабевают по мере удаления от внешнего источника. Это вполне согласуется с клиническими данными, так как заметных разрушений вне хрусталиковой сумки обычно не наблюдается. Более слабые, возмущения достигаются для сетчатки и зрительного нерва и области роговицы.

В результате моделирования удалось получить численные характеристики происходящих динамических процессов при лазерной экстракции катаракты. На волновую картину оказывают влияние появление отраженных волн от свободной границы глаза и границ материалов глаза (рисунок 3).

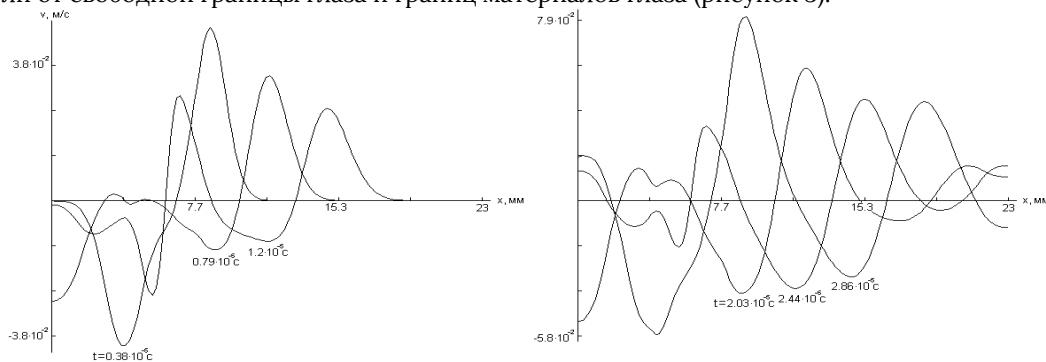


Рис. 3. Проекция значений компонент скоростей на оптическую ось глаза в различные моменты времени

Таким образом, моделирование и выполнение операций на хрусталике глаза методом лазерной экстракции катаракты на практике оказалась успешной.

* Марчук Г.И. Математические модели в иммунологии. М.: Наука, 1985. 239 с.

Мюррей Дж. Математическая биология. Т. 1. М.: Ижевск. 2001. 774 с.

2.3. Математическое моделирование области знаний – Вычислительной геометрии

Шедевром прикладной математики является античная геометрия Евклида. Главным его вкладом в геометрию, изложенной в "Началах" является: аксиоматический метод доказательства утверждений. Евклидова схема состоит из алгоритма и его доказательства. Евклидова геометрия включает набор допустимых инструментов (линейка, циркуль) и множество допустимых операций, которые можно выполнить с их помощью. Позднее Архимед предложил корректную конструкцию для задачи трех секций угла в 60° , добавив новые приемы. Абель в 1828 году предложил найти корень любого алгебраического уравнения, используя только арифметические операции.

Задача определения количественной меры сложности была сформулирована в 1902 году Лемуаном. Гилберт сформулировал необходимое и достаточное условия вычислимости f с использованием n операций при

решении квадратного корня. В 1972 году Джордж Мор определил, что любое построение, которое осуществляется с помощью циркуля и линейки, можно выполнить только циркулем в случае, когда искомые объекты определяются точками.

Таким образом, была выдвинута идея моделирования с использованием линейки и конечного числа операций циркуля. Название "Вычислительная геометрия" впервые официально появилось на русском языке в связи с выходом в издательстве "МИР" Москвы в 1982 году монографий Фокса А. и М. Пратта "Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и производстве". Термин - геометрическое моделирование Н. Шеймоса и Ф. Препарата "Вычислительная геометрия». Термин - вычислительная геометрия.

2.3.1. Моделирование графовой онтологии Вычислительной геометрии в Семантик Веб Интернет.

Для описания онтологий сформировались языки описания (OWL, WSDL и др.)

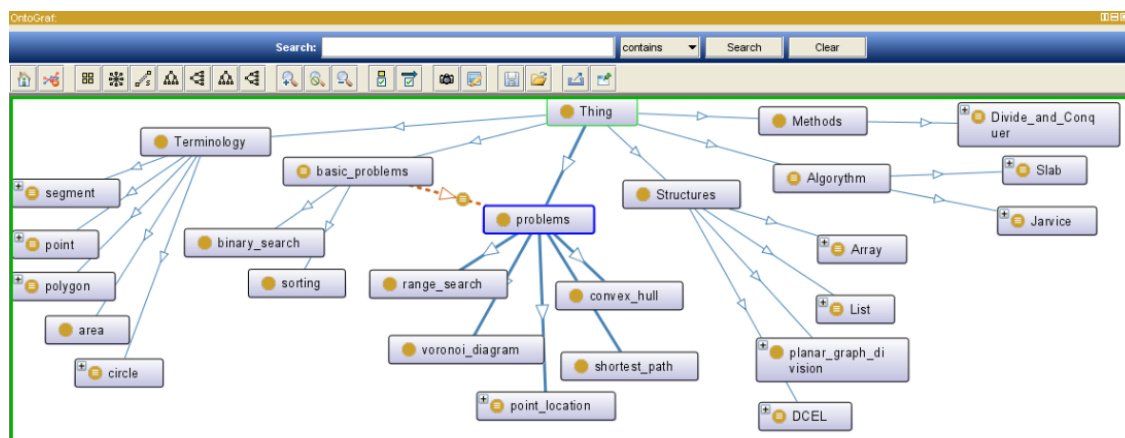
OWL (Ontology Web Language) — язык описания онтологий для семантической паутины и позволяет описывать классы и отношения между ними, присущие веб-документам и приложениям. OWL основан на языках OIL и DAML+OIL и пригоден для описания не только веб-страниц, но и любых объектов реального мира. Каждому элементу описания в этом языке ставится в соответствие URI.

OWL2DL предназначен для пользователей, которым нужна максимальная выразительность при сохранении полноты вычислений (логические заключения, подразумеваемые той или иной онтологией, будут гарантированы на вычисляемые функции) и разрешаемость за определенное время. OWL.DL включает все языковые конструкции OWL, но они могут использоваться только согласно определенным ограничениям (например, класс может быть подклассом других классов, но не может сам быть представителем другого класса). OWL.DL соответствует дескрипционной логике — дисциплине, в которой разработаны логики, составляющие формальную основу OWL. Существует три подмножества OWL DL, называемые "профилями":

OWL2Full предназначен для пользователей, которым нужна максимальная выразительность и синтаксическая свобода RDF без гарантий вычисления. В этом языке класс может рассматриваться как набор индивидов. OWL Full позволяет строить такие онтологии, которые расширяют состав предопределённого (RDF или OWL) словаря. В первой версии языка присутствует подмножество **OWL** (Ontology Web Language) — язык описания онтологий для семантической паутины и позволяет описывать классы и отношения между ними, присущие веб-документам и приложениям. OWL основан на языках OIL и DAML+OIL и пригоден для описания не только веб-страниц, но и любых объектов реального мира. Каждому элементу описания в этом языке ставится в соответствие URI. В первой версии языка присутствует подмножество **OWL Lite для описания с** выразительностью языка и повышением скорости алгоритмов. (<http://www.webont.org/owl/1.1/>), рекомендованный комитетом W3C и содержит следующие виды документов:

1. Structural Specification and Functional-Style Syntax
2. Direct Semantics
3. RDF-Based Semantics
4. Conformance and Test Cases
5. Mapping to RDF Graphs
6. XML Serialization
7. Profiles, Quick Reference Guide
8. New Features and Rationale
9. Manchester Syntax
10. rdf:text: A Datatype for Internationalized Text

Таким образом, рассмотрены разные языки и технологии программирования OWL, которые обеспечивают описание задач приложений из предметных областей знаний.



Существует целый ряд инструментов поддержки онтологий предметных областей знаний. Наибольшую популярность приобрело система Protege. Он основан на фреймвая модели представления знаний и редактирования моделей, описанных в разных форматах UML, XML, SHOE, DAML, OML, RDF и RDFS и др. В Protege имеются готовые плагины: Protege OWL Plugin подобный тестам JUnit; средства генерации описаний в языке Java и возможность преобразовать в формат XML-схемы на платформе Eclipse в XML Schema Infoset Model (XSD). В Protege 4.1. онтология представляется классами, слотами, фасетами и аксиомами. Классы

описывают базовые понятия предметной области, слоты – свойства понятий. Фасеты описывают свойства слотов (типы и диапазоны значений). Аксиомы определяют дополнительные ограничения (правила). Классы могут быть абстрактными или конкретными. Абстрактные классы являются контейнерами конкретных классов и могут содержать абстрактные атрибуты.

Конкретные классы содержат слоты, которым могут быть значения атрибутов. Фасеты и слоты задаются графовыми XML-схемами. Кардинальность слота определяет возможное количество значений слота, ограничение типа значений слота (например, целое и др. экземпляры класса), предельные значения (мин. и макс.) для числовых слотов и т.п.

Этими средствами описана структура задач Вычислительной геометрии и представлена средствами системы Protege 4.1 в виде графовой XML- структуре*.

Вычислительная геометрия (Computational Geometry) является частью компьютерной графики и алгебры. Используется в практике вычислений, управления станками с числовым программным управлением и др. Применяется также в робототехнике (планирование движения и задачи распознавания образов), в геоинформационных системах (геометрический поиск, планирование маршрута), дизайн микросхем и др.

В портале МФТИ разрабатывается линия производства задач вычислительной геометрии, которая докладывалась в Канаде на конференции Future Technology- 2019 (Lavrishcheva E.M., Petrov I.B. Ways of Development of Computer Technologies to Perspective Nano, Agenda - Future Technologies Conference (FTC) 2017, 29-30.- November 2017| Vancouver, Canada, p. 539-549); Ipodlesniy, B. Voponov, E. Lavrishcheva, I. Petrov. Ontology to describe the mathematical subject "Computational Geometry" in Internet.- ICICT-2020.

Ученые лаборатории квантовых систем МФТИ, МИСиС и МФТИ РАН создали первый в России сверхпроводящий кубит – элемент для квантовых компьютеров, который создает новые возможности для обработки информации. Кубит состоит из нескольких джозефсоновских контактов – двух сверхпроводников, разделенных тонким слоем диэлектрика. Электроны могут просачиваться через диэлектрик. Квантовые биты смогут выполнять вычисления и будут доступны современным компьютерам.

В области компьютерной технологии создаются маленькие технические элементы в виде «чипов» и транзисторов и др. для использования разных предметных областей e-sciences. Из них можно собирать, синтезировать новые технические и программные продукты.

В перспективе готовые программные элементы будут уменьшаться и приводиться к виду маленьких частиц, элементов с заранее мизерной структурой и функциональностью. Синтез таких маленьких частиц в более сложные структуры программ и систем уже проводится в рамках e-science (биология, медицина, генетика, физика, и др.)

Методом сборки из готовых технических нано элементов компьютеров в основном выпускаются в Китае, Японии, Южной Кореи, Индии и др. и поставляются в другие страны. Каждый из способов индустрии идет по пути построения гибких технологий, приближающих к принципам нано технологий, автоматически синтезирующих микроэлементные ресурсы в специальные компьютерные продукты.

* Лаврищева Е.М. Программная инженерия и программирование сложных систем.- 2017.- 431с. Юрайт.-www.urait.ru, www.on-line.ru.

Lavrishcheva E.M., Petrov I.B. Ways of Development of Computer Technologies to Perspective Nano, Agenda - Future Technologies Conference (FTC) 2017, 29-30 November 2017| Vancouver, Canada, p. 539-549.

E. Lavrishcheva, L. Karpov, I. Petrov, D. Podlesnykh. Ontological describing the mathematical subject "Computational geometry" in Education.-Conf.ICCSIE - 2020.

3. Заключение

Моделирование и программирование технических и математических задач прошли долгий путь развития и сыграли важную роль в истории математического и физического моделирования задач предметных областей знаний (физика, математика, биология, медицина и др.) и сыграли важную роль в создании технических, программных, операционных средств на современных вычислительных средствах и компьютерных системах (1945- 2000) в рамках ВПК СССР.

После 2000 годов активно используется модель (Model Variability) на линиях производства программ ProductLines, в Grid-системах и применяется на фабриках программ AppFab. Особое развитие получил научный сервис в среде Семантик Веб Интернета (www.semantic_web.org), позволяющий производить композитную сборку сервисов (SOA, SCA) и Reuses в Веб-системах. Разработаны современные технологии системного программирования, интеллектуальные средства (Data Mining) для анализа данных в Legacy систем, извлечения знаний (Mining knowledge) и данных в разных системах, в Big Data, Cloud Computing Сети Интернет. В отечественной практике разработана теория ОКМ моделирования систем и системы преобразования ТД стандарта ISO/IEC 11404 GDT и неструктурных ТД Big Data.