

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ НА БАЗЕ
ИНТЕРАКТИВНОГО АЛГОРИТМИКО-ПРОГРАММНОГО
КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Белашов В.Ю., КГЭУ и К(П)ФУ, д.ф.-м.н., профессор,
v_belashov@yahoo.com

Аннотация. Предлагается перспективная технология изучения будущими техническими специалистами курса общей физики с дополнительными разделами, ориентированными на будущую специальность, включающая, помимо традиционных видов занятий, использование интерактивного алгоритмико-программного комплекса моделирования физических процессов, реализующего, наряду с динамической визуализацией базовых положений теоретического материала, алгоритмико-программную поддержку решения задач компьютерного моделирования широкого круга систем в задачах механики, молекулярной теории, электромагнетизма, теории колебаний и волновых явлений (включая колебательные и волновые процессы в электрических цепях, газовых и плазменных средах), случайных блужданий, теории перколяции и квантовой механики.

Ключевые слова: интерактивные технологии, физика, моделирование, алгоритмико-программный комплекс, инженерное образование

При получении инженерного образования в рамках широкого спектра существующих направлений подготовки важную роль играет использование электронных образовательных и информационных ресурсов, в том числе и для более полного и глубокого усвоения обучающимися как теоретических основ изучаемых дисциплин, так и получения навыков самостоятельной подготовки. При изучении основных разделов такой базовой для будущих инженеров дисциплины, как физика, включая ее дополнительные разделы, ориен-

тированные на будущую специальность, важную роль в этом плане играет возможность использования методов математического (компьютерного) моделирования физических явлений и процессов, зачастую не допускающих иных (например, аналитических) подходов к их исследованию, что, помимо прочего, дает возможность дополнительного, более глубокого, освоения собственно соответствующих разделов общей физики путем использования методов компьютерного моделирования для решения задач, возникающих в различных областях физики и техники [1].

Актуальность такого подхода определяется, прежде всего, тем, что подготовка современных специалистов – инженеров и исследователей – просто немыслима без овладения ими, хотя бы в общих чертах, знаниями по современным методам и технике инженерных и исследовательских расчетов и теории моделирования соответствующих физических и технических систем с применением вычислительной техники. Инновационные подходы, предполагающие создание интерактивных комплексов, использующих современные компьютерные технологии, включая real-time визуализацию процесса и результатов моделирования, направлены на повышение качества подготовки специалистов и расширение их научного кругозора [2].

С целью обеспечения динамической визуализации базовых положений теоретического материала и алгоритмико-программной поддержки решения задач компьютерного моделирования предлагается использовать разработанный нами ранее алгоритмико-программный комплекс (АПК) [2], который имеет модульную структуру открытого типа. Отдельные модули отвечают базовым разделам физики, охватывающим аспекты моделирования широкого круга систем в задачах механики, теории колебаний и волновых явлений (включая колебательные и волновые процессы в электрических цепях, газовых и плазменных средах). Открытый тип структуры АПК дает возможность включения новых модулей и, в случае необходимости, модификации существующих. Каждый из тематических блоков-модулей единообразно структурирован в соответствии со следующей иерархией:

- головной интерактивный блок, позволяющий в диалоге просмотреть ос-

новые концептуальные положения теории соответствующего раздела с возможностью их визуализации на базе статической и динамической графики;

- блок демонстрационных задач, иллюстрирующих теоретические положения физического раздела;
- блок задач компьютерного моделирования, предлагаемых к решению в рамках изучения соответствующего класса физических систем, снабженный диалоговой системой справочного характера, содержащей краткое описание основных алгоритмов с текстами их основных модулей.

Рассмотрим каждый из модулей более подробно (рис. 1).

Головной интерактивный блок АПК содержит теоретическую часть, позволяющую обучающимся получить базовые знания по теории методов математического моделирования, вычислительных методов и их алгоритмической реализации, более глубоко усвоить непосредственно физический материал соответствующих разделов, овладеть практическими навыками использования современных подходов к компьютерному моделированию и применению вычислительной техники для моделирования физических явлений и процессов в самых разнообразных физических и технических областях, включая алгоритмизацию, программную реализацию, графическую визуализацию и интерпретацию результатов моделирования.

Методически изучаемый материал разбит на главы, соответствующие традиционно выделяемым областям в общих и специальных курсах физики с включением ряда новых, не встречающихся в соответствующих стандартных программах физических курсов, разделов современной физики (например, таких, как динамика систем многих частиц и задачи случайного блуждания, физика критических явлений, теория фракталов, модели кинетического роста, перколяция и клеточные автоматы и т.д.). Изложение теоретического материала каждого раздела построено в соответствии со следующим порядком: краткое введение в теорию с постулированием основных положений, рассмотрение вычислительных методов и их алгоритмической реализации, разбор основных типовых задач и подходов к компьютерному моделированию соответствующих явлений и процессов при помощи их визуализации посредством статической и динамической графики.

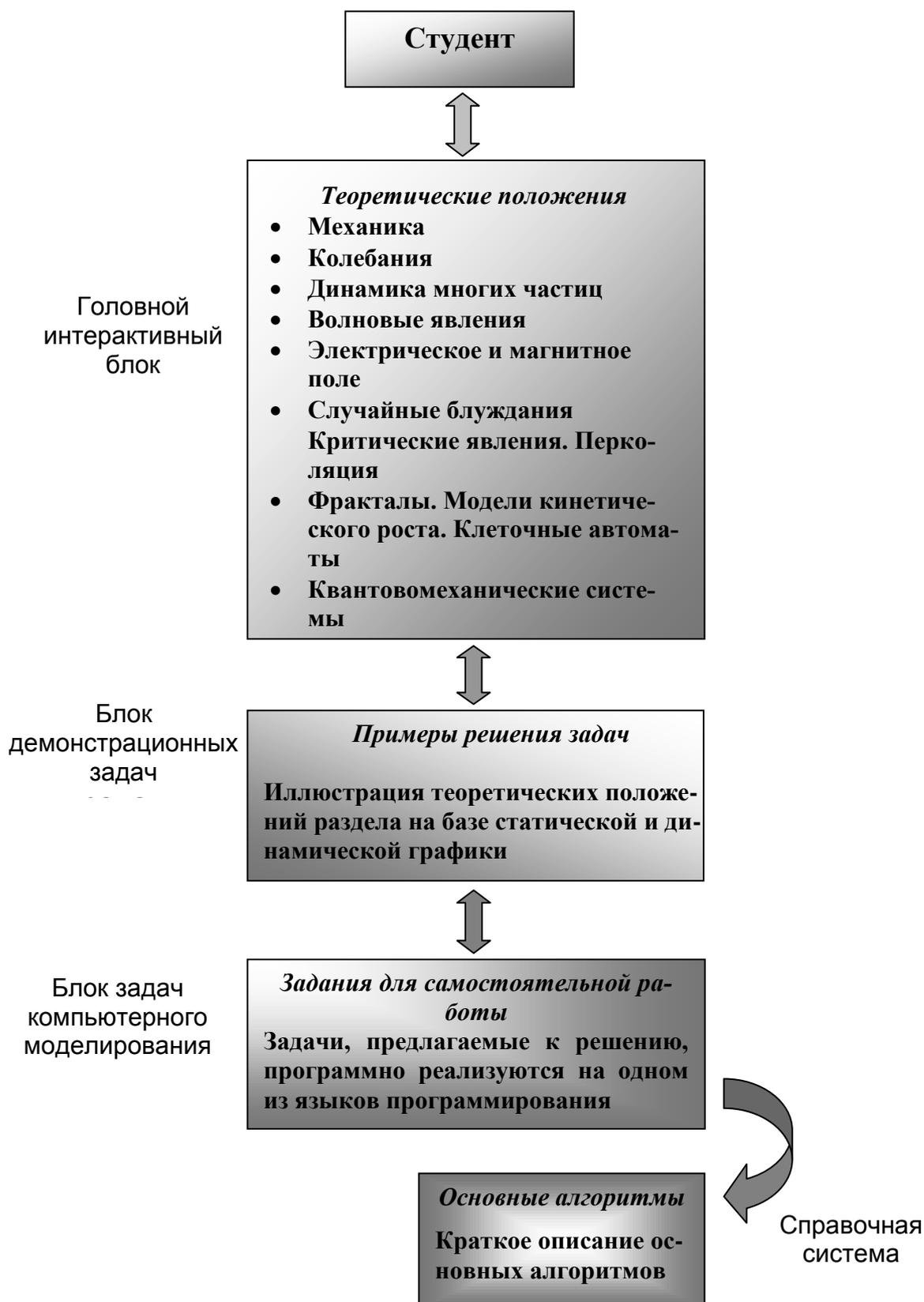


Рис.1. Структура алгоритмико-программного комплекса

Кроме того, в данном блоке приведен материал для дополнительного изучения, касающийся одной из важнейших для специалистов-исследовате-

лей областей, связанной с оценкой возможного воздействия внешних электромагнитных полей на электротехнические устройства и комплексы в контексте проблемы электромагнитной совместимости оборудования – рассмотрены примеры решения задачи дифракции электромагнитных волн на симметричных проводящих объектах [3].

Блок демонстрационных задач подкреплен довольно значительным объемом решенных работ лабораторного практикума, призванного обеспечить выполнение одной из основных задач изучения дисциплины – освоение практических навыков использования соответствующих методов моделирования и алгоритмов вычислительной физики и их программной реализации на ЭВМ. Исследование физических процессов, не имеющих аналитических решений, производится при помощи численных методов (Эйлера, Эйлера-Кромера, методов релаксации, Монте-Карло и др.). Программная реализация исследуемых задач осуществляется на одном из языков программирования.

Блок задач компьютерного моделирования представляет собой сборник заданий к лабораторным работам на ЭВМ с необходимыми при выполнении методическими указаниями для их аудиторного и самостоятельного выполнения. На базе полученных знаний обучающиеся при исследовании физических систем используют для всестороннего и наиболее полного анализа аналогии между явлениями и процессами различной физической природы, строят и исследуют обобщенные модели систем. Данный блок снабжен диалоговой системой справочного характера, содержащей описание основных алгоритмов программной реализации задач каждого физического раздела.

Приведем некоторые примеры использования функциональных возможностей АПК в исследовании обучающимися физических процессов и явлений. Например, один из приводимых в АПК алгоритмов позволяет проводить моделирование электрического поля для системы N точечных электрических зарядов с графической иллюстрацией результатов (см. рис. 2) и может быть использован как элемент более общего алгоритма – при компьютерном моделировании движения заряженной частицы в стационарном электрическом

поле, а также для расчета поля заряженных частиц (например, поля внутри плоского конденсатора).

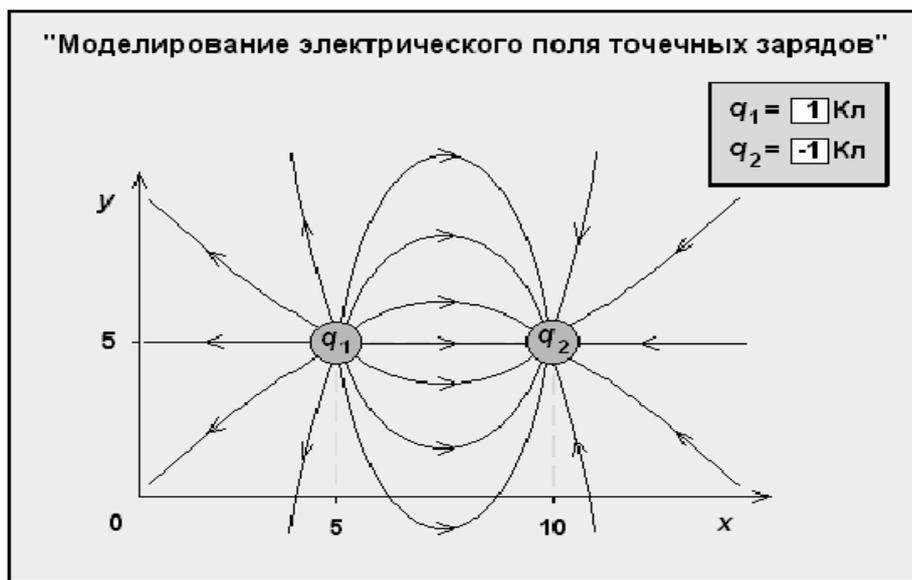


Рис. 2. Силовые линии электрического поля двух точечных зарядов

Уже упоминавшаяся выше задача дифракции электромагнитных волн на симметричных проводящих объектах решается с использованием аппарата специальных функций [3] в интерактивном режиме. Алгоритм при этом позволяет получить поле внешней дифракции для широкого спектра частот падающей на цилиндрический или сферический объект электромагнитной волны. На рис. 3а, б приведены примеры результатов моделирования дифракции на проводящем цилиндре для падающих ЭМ волн с частотами 10÷30 Гц и 1-3 кГц, соответственно. Исследование спектрального состава и временной динамики спектров электромагнитных излучений естественных и искусственных источников может быть проведено с помощью алгоритмов визуализации [4], также представленных в АПК (см. пример на рис. 4).

Для численного решения уравнений Лапласа и Пуассона (вычисление распределения электрического потенциала внутри некоторой области с заданным потенциалом на границе) применяется метод релаксации [1, 5], подробно описанный в АПК. В качестве примера на рис. 5 показано полученное с помощью алгоритма, реализующего этот метод, решение уравнения Лапла-

са, описывающее распределение электрического потенциала и напряженности E поля токоограничителя, используемого в высоковольтных коммутационных аппаратах в системах электроснабжения промышленных предприятий.

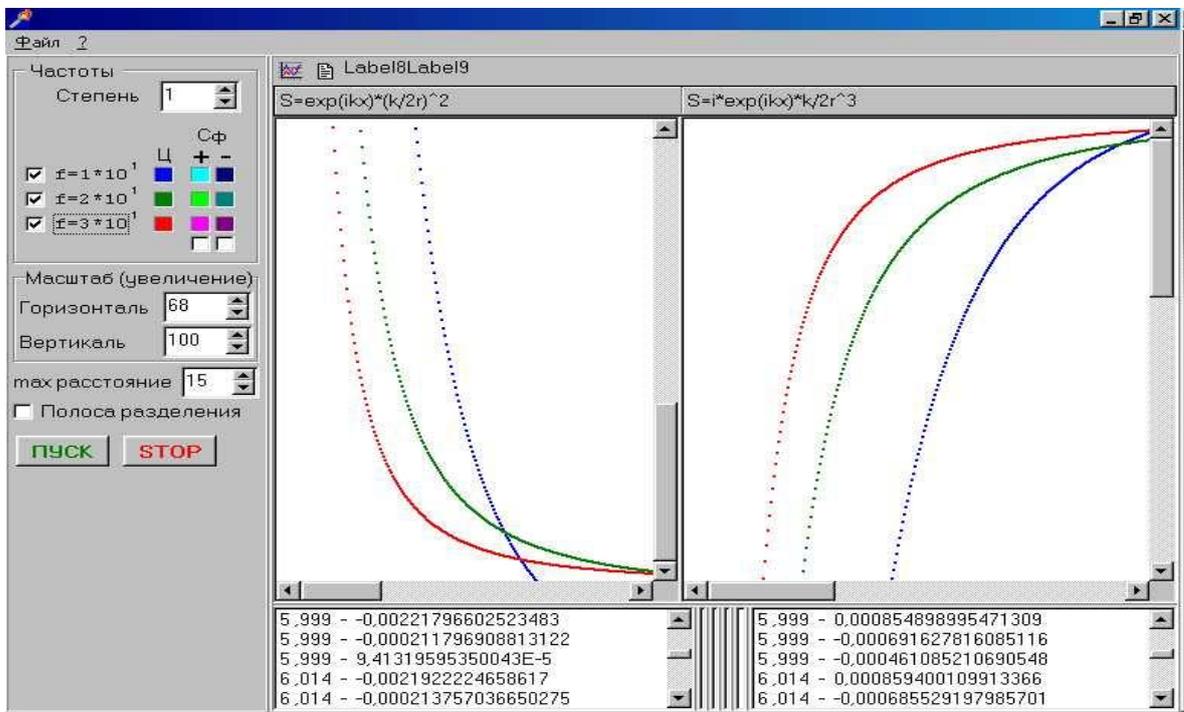


Рис. 3а. Результаты моделирования вклада дифракционной составляющей в суммарное поле в диапазоне $f = 10 \div 30$ Гц

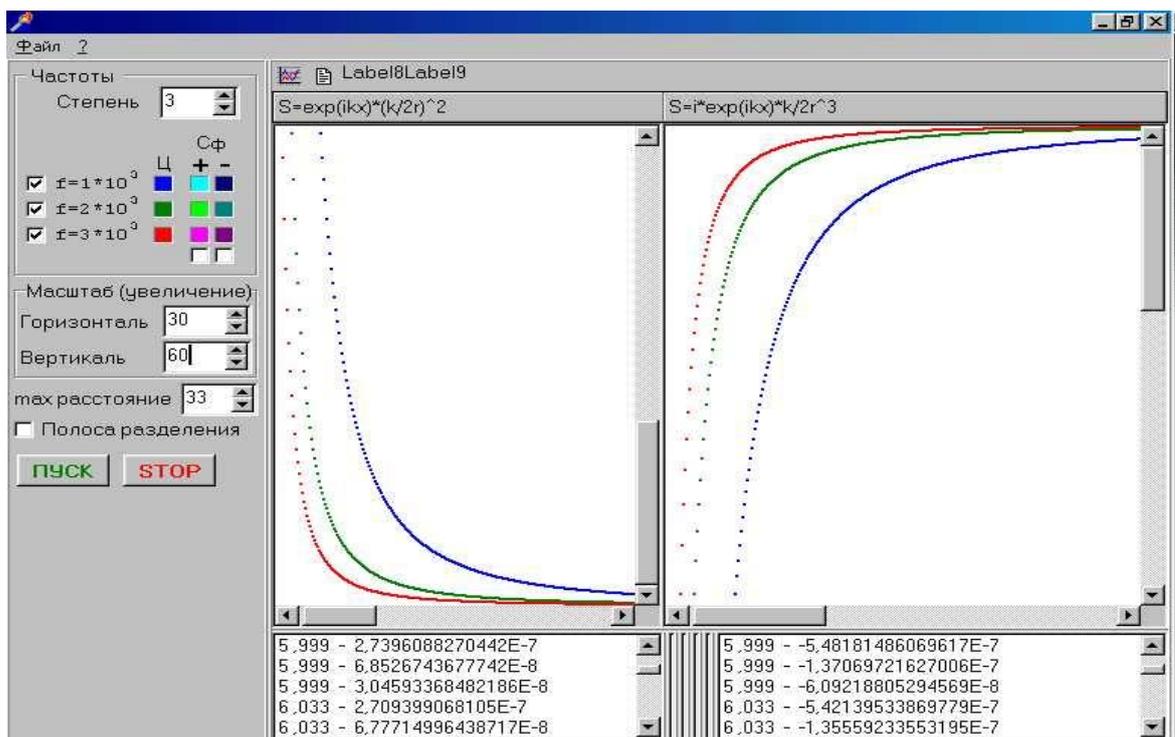


Рис. 3б. То же, что и на рис. 3а, для частотного диапазона $f = 1 \div 3$ кГц

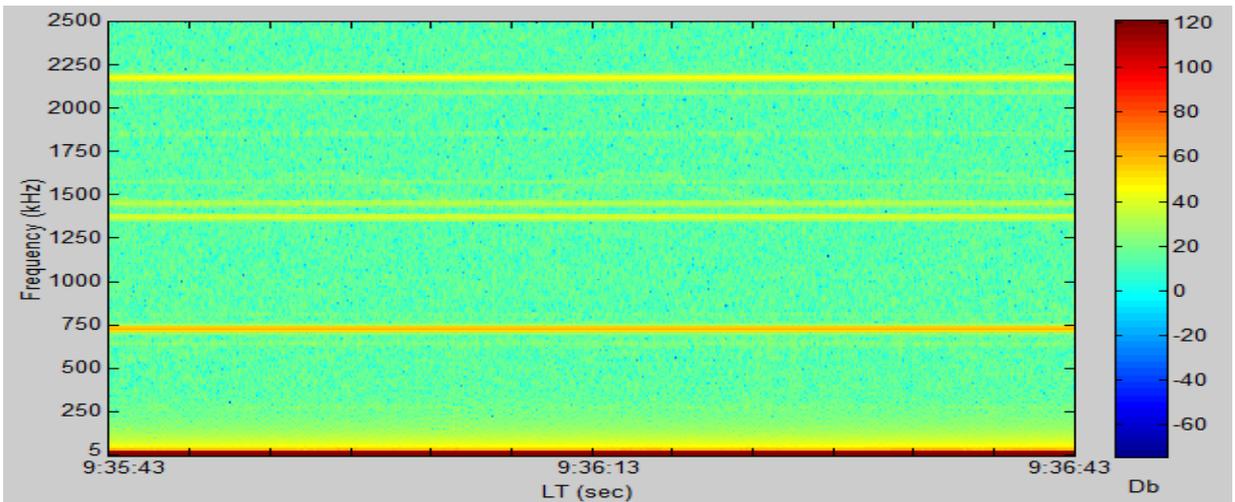


Рис. 4. Пример динамического спектра электромагнитных излучений искусственных источников (5 кГц – 2,5 МГц)

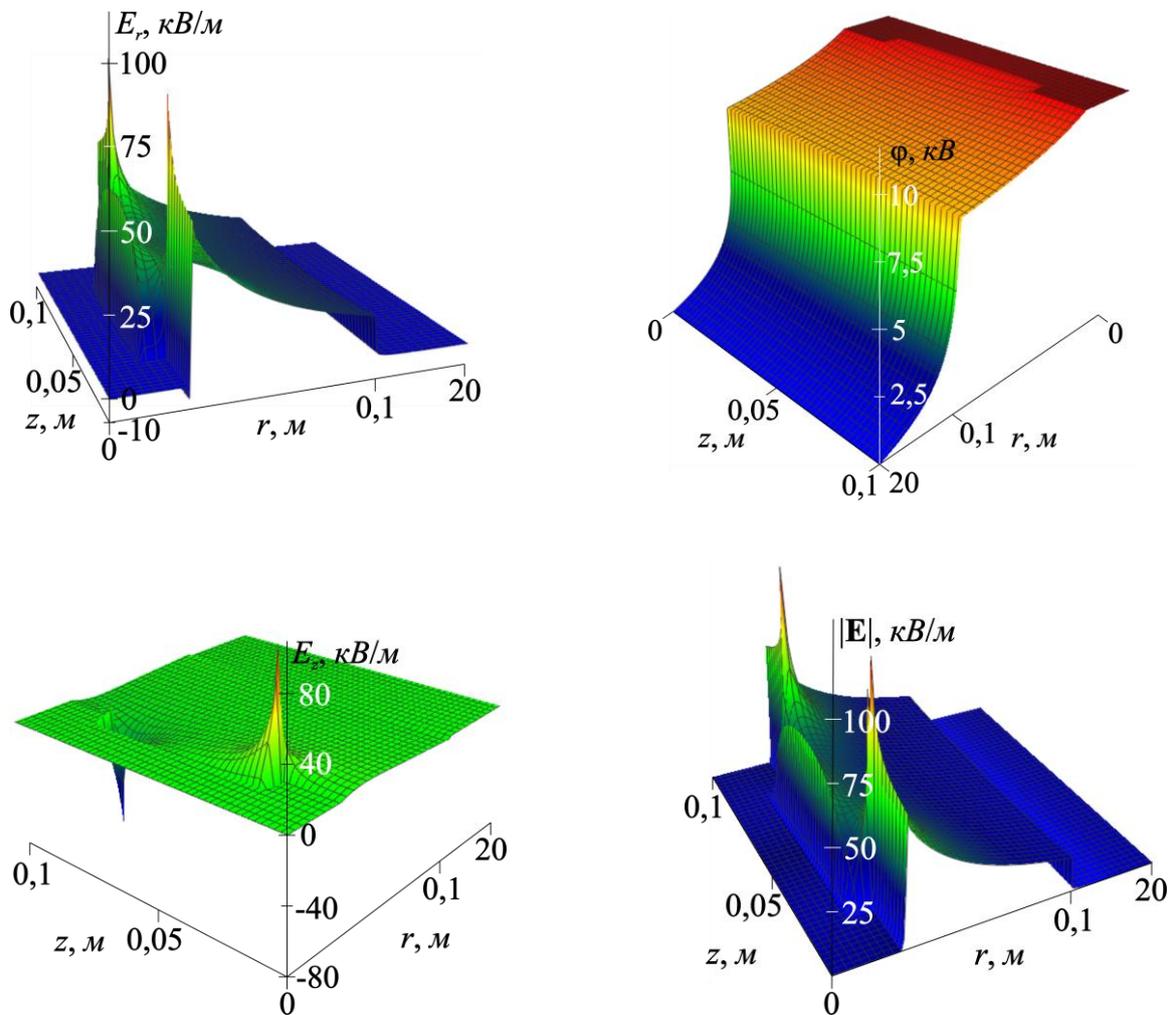


Рис. 5. Пространственная структура электрического поля токоограничителя при замкнутых контактах: а) E_r ; б) потенциал φ ; в) E_z ; г) $|\mathbf{E}|$

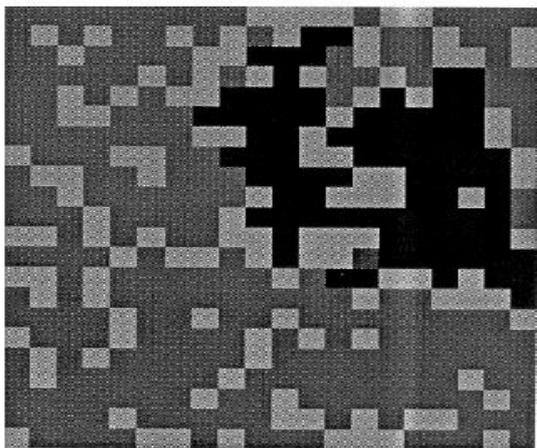


Рис. 6. Кластер, полученный в модели де Жена «муравей в лабиринте»

В задачах, связанных с изучением фракталов, фрактальная размерность для перколяционных кластеров обычно вычисляется с помощью простых методов Монте-Карло [6] и метода ре-норм-группы [7]. Фрактальный подход применяется для описания нерегулярных форм в таких различных системах, как турбулентное поле, береговые линии, горные цепи, облака и т.д.

Модель, описывающая диффузию в неупорядоченных средах (например, процесс диффузии атома в неупорядоченном твердом теле или проводимость случайной резистивной цепи), рассмотрена в АПК на базе кинетической модели роста фракталов «муравей в лабиринте» (см. пример на рис. 6). Другие модели кинетического роста, представленные в АПК, могут быть полезны при изучении явления пробоя диэлектрика и траекторий искровых разрядов [8, 9]. Пример работы модуля, реализующего алгоритм агрегации с ограничением диффузии, приведен на рис. 7.

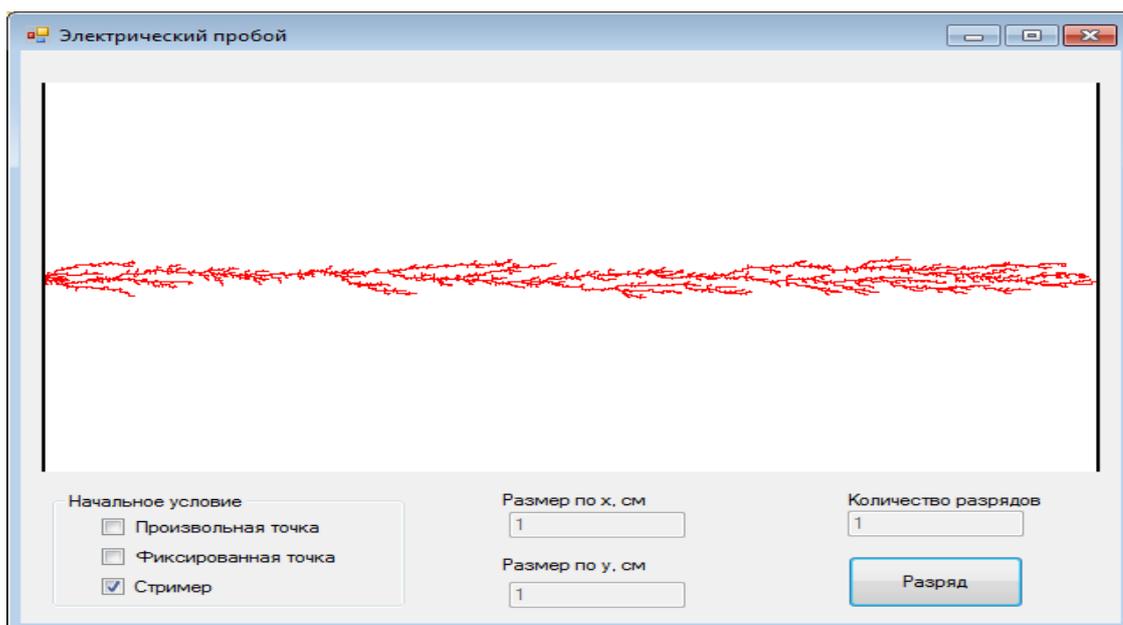


Рис. 7. Моделирование траектории искры (лидера) электрического пробоя в межэлектродном промежутке методом АОД

Таким образом, функциональные возможности АПК позволяют как интенсифицировать, так и существенно облегчить усвоение обучающимися теоретического материала основных и дополнительных (с ориентацией на будущую специальность) разделов курса физики и приобрести необходимые навыки – от самостоятельной разработки эффективных алгоритмов и их программной реализации для решения задач моделирования соответствующих физических систем до постановки и проведения численных экспериментов и адекватной физической интерпретации результатов моделирования.

Источники

1. Белашов В.Ю. Математические методы моделирования физических процессов. – Казань: КГЭУ, 2004. 128 с.
2. Белашов В.Ю. Интерактивный алгоритмико-программный комплекс для решения задач вычислительной физики // Современный физический практикум. Тр. V учебно-методич. конференции, Новороссийск, 22-24 сент. 1998 г. – М.: «Изд. дом МФО», 1998. С. 122-126.
3. Белашов В.Ю., Сингатулин Р.М. Проектирование электротехнических устройств и систем: аппарат специальных функций для решения проблем ЭМС. Учебное пособие. – Казань: КГЭУ, 2004. 94 с.
4. Белашов В.Ю., Асадуллин А.И., Рылов Ю.А. Экспериментальные исследования ЭМ полей, генерируемых в широком диапазоне частот на предприятиях энергетики и промышленности // Изв. вузов. Проблемы энергетики, 2013. № 7-8. С. 63-68.
5. Гулд Ч., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Ч. 1. – М.: Мир, 1990. 349 с.
6. Гулд Ч., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Ч. 2. – М.: Мир, 1990. 400 с.

7. Wilson K.G. The renormalization group and critical phenomena //Rev. Mod. Phys., 1983. V. 55. P. 583-587 (нобелевская лекция).
8. Белашов В.Ю., Ларионов С.Н. Исследование ансамблей траекторий искровых разрядов при электрическом пробое газов методами теории фракталов // Изв. вузов. Проблемы энергетики, 2007. № 7-8. С. 82 – 86.
9. Дьяков А.Ф. Физические основы электрического пробоя газов. М.: Изд-во МЭИ, 1999. 400 с.

BELASHOV V.YU.

PERSPECTIVE TECHNOLOGIES IN PHYSICS EDUCATION ON THE BASIS OF THE INTERACTIVE ALGORITHMIC-PROGRAM COMPLEX FOR SIMULATION OF PHYSICAL PROCESSES

Annotation. The perspective technology of studying by the future technical specialists of a course of general physics with the additional sections focused on the future speciality, including, besides traditional kinds of education, use of an interactive algorithmical-program complex of modeling of the physical processes that gives, on a level of dynamic visualization of base points of theoretical material, an algorithmical-program support for solving of the problems of computer simulation of the wide spectrum of systems in mechanics, the molecular theory, an electromagnetism, the theory of fluctuations and the wave processes (including oscillations and wave processes in electric circuits, gas and plasma media), random walks, the percolation theory and quantum mechanics is offered.

Keywords: interactive technologies, physics, simulation, algorithmical-program complex, engineering education