

П. К. Шалькевич¹, С. П. Кундас², И. А. Гишкелюк¹

¹Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

ГРАФИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ

К возможностям программного комплекса «SPS» (Simulation of Processes in Soil) относится прогнозирование миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах, которое выполняется путем решения разработанных авторами математических моделей при помощи методов и алгоритмов, учитывающих особенности этих моделей и позволяющих получать наиболее точные и достоверные прогнозы [1]. При этом, сам процесс прогнозирования ввиду своей сложности, обусловленной сложностью моделируемых физических процессов, требует обеспечения высокой производительности аппаратной части ЭВМ, которая этот процесс выполняет, а анализ полученных в результате прогнозирования данных требует глубоких знаний в области моделируемого процесса для того. В указанной статье осуществляется выбор технологии компьютерной графики, применение которой позволяет удовлетворить потребность в производительности аппаратной части ЭВМ путем максимально эффективного применения ее ресурсов и позволяет создавать визуальные 3D модели миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах.

➤ **Ключевые слова:** компьютерное моделирование, компьютерная графика, миграция загрязняющих веществ, тепловлагоденос.

Введение

Программный комплекс «SPS» представляет собой совокупность программных модулей, выполняющих решение задачи моделирования неизотермического тепловлагоденоса в природных дисперсных средах как в двухмерном, так и в трехмерном виде, позволяя рассчитать полноценную картину распространения радионуклидов от источника загрязнения по всем направлениям, учитывая условия на границах сред распространения [2]. Основная часть программного комплекса выполнена в среде Microsoft Visual Studio 2008 на языке C++ с использованием современных технологий объектно-ориентированного программирования и состоит из динамически подключаемых библиотек [3]. Учитывая, что компьютерное моделирование миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах требует обеспечения высокой производительности аппаратной части ЭВМ, описываемый программный комплекс содержит класс OpenMP, который содержит директивы компилятора, библиотечные процедуры и переменные окружения, предназначенные для создания многопоточных приложений на многопроцессорных системах с общей памятью, что позволяет полноценно применять разработанные авторами алгоритмы параллельных вычислений рассматриваемой задачи [4], которые позволяют максимально эффективно использовать вычислительные ресурсы современных ЭВМ [5].

Выбор средств компьютерной графики для визуализации результатов 3D моделирования миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах

На рис. 1 показаны экранные формы пользовательского интерфейса ПК «SPS» при выводе результатов моделирования с возможностью строить графики зависимостей и анализировать протекающие в почве процессы.

Очевидно, что отображение результатов в таком виде приемлемо только для специалистов, обладающих углубленными знаниями особенностей моделируемых процессов и знакомых с логикой работы рассматриваемого программного обеспечения. Более того, показанный интерфейс не может дать целостное пространственное представление о трехмерной миграции загрязняющих веществ [6], т. к. в нем не реализована визуальная 3D модель.

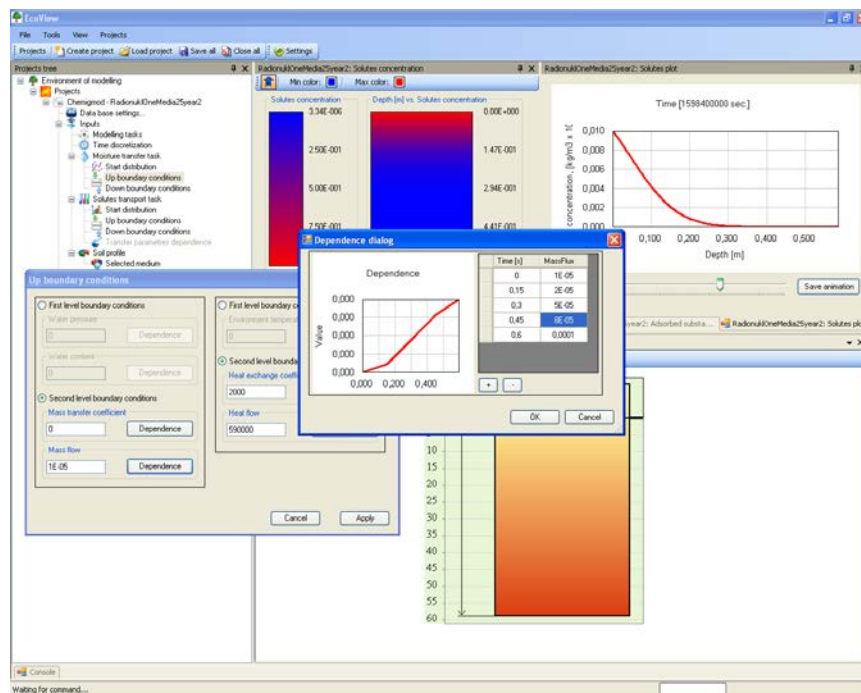


Рисунок 1 – Результаты моделирования в программном комплексе SPS

Для построения визуальной 3D модели необходимо использовать технологию компьютерной графики, позволяющую использовать полученные в результате моделирования массивы со значениями параметров, а также, которая будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к эффективному использованию ЭВМ [7]. Учитывая использованные для разработки ПК SPS технологии, для графической визуализации может быть выбрана либо библиотека OpenGL, либо конкурирующая с ней система Direct3D. Но последняя менее адаптирована для кроссплатформенного использования, что ухудшает перспективы применения разработанных программных средств на современных суперкомпьютерах [8].

Доступ к возможностям OpenGL реализуется в SPS через библиотеку Tao Framework, в состав которой входят все современные средства, которые могут понадобиться в ходе разработки мультимедиа программного обеспечения: реализация библиотеки OpenGL, реализация библиотеки FreeGlut, библиотека DevIL (легшая в основу стандарта OpenIL – Open Image Library), программный интерфейс GNU/Linux ODE, библиотека FreeType, реализующая растеризацию шрифтов и другие средства визуализации [9, 10].

Конвейер визуализации OpenGL [7], отражающий принцип этой технологии, показан на рис. 2.

Списки – все данные, геометрические или пиксельные, которые могут быть сохранены для текущего или последующего использования. Когда исполняется список, сохраненные в нем данные обрабатываются так же, как если бы они поступали в непосредственном режиме.

Вычислители – все геометрические примитивы описываются своими вершинами. Параметрические кривые и поверхности могут быть изначально описаны с помощью контрольных точек и полиномиальных функций, называемых базисными функциями. Вычислители предоставляют метод для определения реальных вершин, представляющих поверхность, по ее контрольным точкам. Этот метод – полиномиальная аппроксимация, он позволяет получить нормаль поверхности, координаты текстуры, цвета и значения координат в пространстве.

Поверхинные операции – характеризуют некоторые типы вершинных данных, которые трансформируются матрицами чисел с плавающей точкой размерности 4×4. Пространственные координаты проецируются с позиции в 3D мире в позицию на экране.

Сборка примитивов – уничтожение частей геометрии, выпадающих за полупространство, определенное плоскостью. Отсечение точек отвергает или не отвергает вершину; отсечение линий или полигонов может добавить дополнительные вершины в зависимости от ситуации (того, как именно линия или полигон отсекаются). Результатом этого этапа являются завершенные примитивы, то есть трансформированные и отсеченные вершины со связанными цветом, глубиной и, иногда, координатами текстуры.

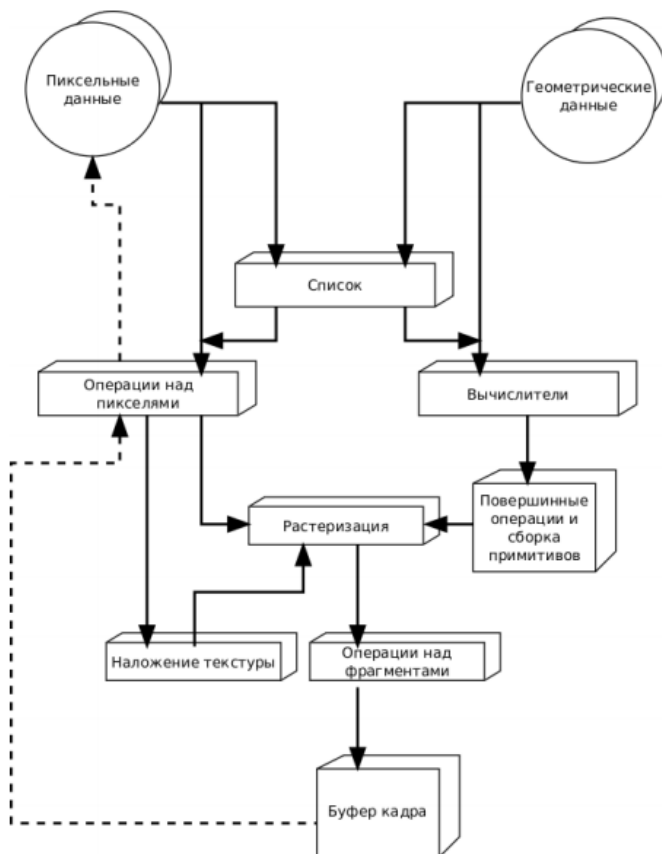


Рисунок 2 – Конвейер визуализации в OpenGL

Операции над пикселями – распаковка массивов данных из системной памяти. Результат сжимается и записывается в текстурную память или отправляется на этап растеризации.

Наложение текстуры – этап взаимодействия с текстурной памятью.

Растеризация – процесс преобразования геометрических и пиксельных данных во фрагменты. Каждый фрагмент соответствует пикселю в буфере кадра. Шаблоны линий и полигонов, толщина линии, размер точек, модель заливки, вычисления связанные с наложением для поддержки сглаживания принимаются в расчет при развертке двух вершин в линию или вычислении внутренних пикселей полигона. Каждый фрагмент имеет ассоциированные с ним значения цвета и глубины.

Операции над фрагментами – этап вычислений графических параметров описываемых процессов и движений.

Применение описанных технологий компьютерной графики позволяет реализовать отображение исходных данных и полученных результатов при моделировании неизо термического переноса тепла и влаги в почве в виде, показанном на рис. 3.

Таким образом, пользователь разработанной программы может осуществлять моделирование миграции загрязняющих веществ в почве, а на основе полученных результатов делать прогноз распространения загрязняющих веществ по всем направлениям от источника загрязнения.

Функциональные требования [11] к программному обеспечению для программ моделирования сложных физических процессов могут быть соблюдены только за счет применения технологий параллельных вычислений [12]. Применение в ПК «SPS» технологии OpenGL обеспечивает также возможность использования технологии параллельных вычислений в алгоритме построения изображений, которая позволяет эффективно использовать ресурсы современных графических процессоров. Масштабируемость технологии OpenGL позволяет также применять программные средства, разработанные с ее применением, как на программных платформах «Windows», так и «Unix». Этот факт свидетельствует о широких возможностях применения ПК «SPS», как на кластерах программы СКИФ [8], так и на серверах, поддерживаемых технологию «облачных» вычислений.

Рассматривая функциональные требования к программному обеспечению с позиции международного стандарта ISO/IEC/IEEE 24765:2010, которая заключается в оценке таких свойств ПО, как

масштабируемость, эффективность, производительность и надежность [13], то можно сделать вывод, что применение технологии OpenGL в ПК «SPS» полностью соответствует функциональным требованиям указанного стандарта.

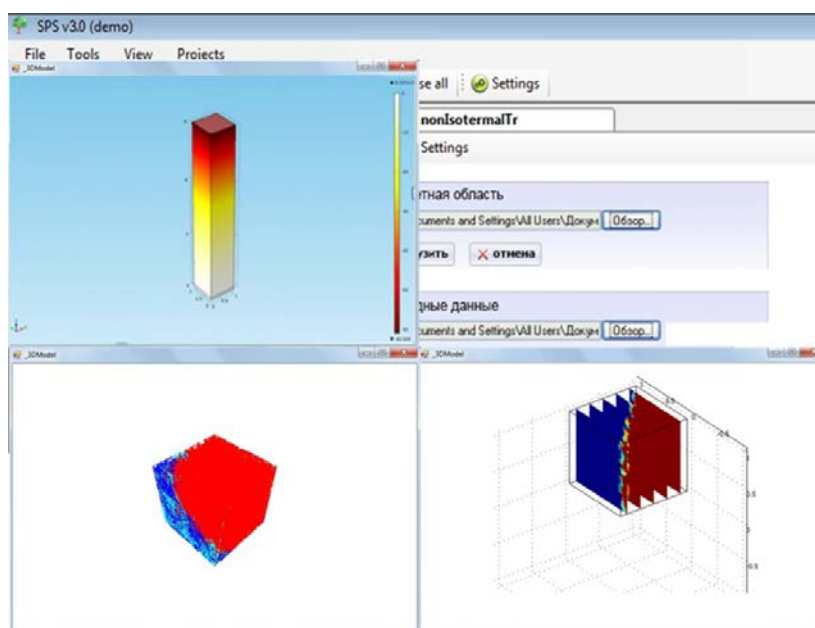


Рисунок 3 – Результаты моделирования в программном комплексе SPS, полученные за счет применения библиотеки OpenGL

Выводы

С помощью описанных технологий компьютерной графики, в новой версии программного комплекса SPS отображаются исходные данные и получаемые результаты 3D моделирования неизоотермического теплового переноса в природных дисперсных средах, в частности, объемное распределение радионуклидов и других загрязняющих веществ на исследуемом участке территории. Разработанное программное обеспечение соответствует функциональным требованиям стандарта ISO/IEC/IEEE 24765:2010.

Список литературы

1. Кундас, С. П., Гишкелюк, И. А., Коваленко, В. И. и др. Компьютерное моделирование миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах / С. П. Кундас, И. А. Гишкелюк, В. И. Коваленко [и др.]. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 212 с.
2. Шалькевич, П. К., Кундас, С. П., Гишкелюк, И. А. Технология параллельных вычислений задачи теплового переноса в программном комплексе SPS / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас, И. А. Гишкелюк // Информатика. – 2015. – № 45. – С. 73–79.
3. Kundas, S. Application of computer modeling for analysis and forecasting of radionuclide's migration in soil / S. Kundas, V. Kovalenko, I. Gishkeluk // J. of the University of Applied Sciences Mittweida (Germany). – 2006. – № 10. – P. 44–49.
4. Шалькевич, П. К., Кундас, С. П. Анализ эффективности использования программных пакетов RVM и MPI для параллелизации вычислений при моделировании неизоотермического теплового переноса в природных дисперсных средах / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас // Математическое и компьютерное моделирование систем и процессов. – Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2013. – № 3. – С. 46–50.
5. Шалькевич, П. К., Кундас, С. П., Гишкелюк, И. А. Алгоритм параллельных вычислений задачи неизоотермического теплового переноса в природных дисперсных средах / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас, И. А. Гишкелюк // Доклады БГУИР. – 2014. – № 5 (83). – С. 90–94.
6. Кундас, С. П., Шалькевич, П. К., Гишкелюк, И. А. Методы долгосрочного прогнозирования взаимосвязанного теплового переноса и миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах с применением технологии параллельных вычислений / Материалы республиканской науч.-практ. конф. «Радиация, экология и техносфера = Radiation, environment and man-risk factor». Гомель, 3-4 дек. 2015// редк.: И. А.Чешик (гл. ред.) и др. – Минск: Ин-т. Радиологии. – С. 153–157.
7. Shreiner, D. OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL, Version 4.3 / D. Shreiner, G. Sellers, J. M. Kessenich, B. Licea-Kane // Addison-Wesley. – 2013. –984 p.

8. Шалькевич, П. К., Кундас, С. П. Параллельное вычисление задачи взаимосвязанного теплооблагоденоса на суперкомпьютерах с различным числом ядер / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас // Сахаровские чтения 2014 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 14-й международной научной конференции, Минск, 29–30 мая 2014 г. / МГЭУ: редкол.: В. И. Дунай [и др.]. – Минск, 2012. – С. 221–222.
9. Russell J. Tao Framework / J. Russell // Bookvika Publishing – 2012. – P. 101.
10. The Tao Framework // Спецификации программы Tao Framework [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sourceforge.net/p/taoframework/wiki/Home/>. – Дата доступа: 06.06.2015.
11. Вигерс, К. // Разработка требований к программному обеспечению / Пер. с англ. – М.: «Русская Редакция», 2004. – 576 с.
12. Agarwal, R.K. Parallel Computers and Large Problems in Industry / R. K. Agarwal // Computational Methods in Applied Sciences, Elsevier Science Pub. – 1992 – P. 1–11.
13. ISO/IEC/IEEE 24765:2010 – Systems and software engineering – Vocabulary – 15.12.2010 – P. 410.

P. K. Shalkevich, S. P. Kundas, I. A. Gishkeluk

COMPUTER GRAPHICS TECHNOLOGIES FOR VISUALISATION OF THE 3D MODELING RESULTS OF CONTAMINANTS MIGRATION IN NATURAL DISPERSE MEDIA

The OpenGL technology application for visualization of the 3D modeling results of contaminants migration in soil is discussed. This technology was used for modernization of program facility SPS (Simulation Processes in Soil) in connection with using of parallel technology for solved tasks calculation.