

**Отчет по этапам НИР, завершённым в 2020 г.  
в соответствии с планом НИР института**

**Приоритетное направление 1.4. «Высокопроизводительные вычисления»**

**Проект № 0315-2016-0007** «Технологии, алгоритмы и система автоматического конструирования параллельных программ численного моделирования на пета- и экза-флопсных супер-ЭВМ» (номер государственной регистрации 01201370230).

Научный руководитель – д.т.н. В.Э. Малышкин.

**Этап 2020 г.** 1) Разработка методики использования системы автоматического конструирования параллельных программ численного моделирования LuNA и необходимой эксплуатационной документации. Оптимизация тех алгоритмов системы LuNA, низкое качество которых существенно сказывается на качестве автоматического конструирования параллельных программ численного моделирования LuNA, и/или разработка новых алгоритмов, обеспечивающих более высокое качество работы системы LuNA. Разработка и реализация Web интерфейса для удаленного доступа к системе LuNA. 2) Создание клеточно-автоматных моделей нелинейной пространственной динамики с использованием технологии параллельного программирования. Разработка целочисленных клеточно-автоматных моделей потоковых и волновых процессов и создание комплекса программ для их параллельной реализации на кластерных суперкомпьютерах.

1) Улучшены алгоритмы системы LuNA, осуществляющие трансляцию LuNA-программ в исполняемое представление, и алгоритмы исполнительной системы LuNA:

- статический алгоритм автоматической сборки мусора для LuNA-программ частного вида,
- динамический алгоритм балансировки вычислительной нагрузки на узлы мультимпьютера на основе подхода “job stealing”,
- алгоритмы профилирования LuNA-программ и алгоритм анализа профиля.

Разработана документация по эксплуатации системы LuNA, а также механизмы повышения информативности сообщений об ошибках компиляции и исполнения LuNA-программ.

Одной из задач развития проекта LuNA является создание удобных средств для применения языка LuNA пользователями. В 2020 г. обеспечена возможность разработки и применения LuNA-программ через веб-интерфейс. Эта работа выполнена в рамках развития проекта HPC Community Cloud (HPC2C).

Проект HPC2C посвящен созданию системы высокоуровневого управления организации вычислений, которая обеспечивает унифицированные программный и пользовательский интерфейсы для управления организацией вычислений на удаленных высокопроизводительных вычислительных системах (ВВС). Сервисы HPC2C позволяют программно (через RESTful интерфейс) или средствами веб-приложения

- перемещать файлы между персональным компьютером пользователя, файловым хранилищем HPC2C и ВВС, к которым у пользователя есть персональный доступ (учетная запись),
- осуществлять постановку и отслеживание выполнения вычислительных задач на ВВС,
- разрабатывать с помощью визуального языка сложные сценарии, состоящие из указанных операций,
- разрабатывать (в том числе пользуясь встроенными инструментами генерации кода) пользовательские интерфейсы для создания высокоуровневых сред управления вычислительными экспериментами.

Возможности интегрированной среды разработки (IDE), встроенной в веб-приложение HPC2C, были расширены для поддержки разработки LuNA-программ. Автоматизирована отправка разработанных программ на удаленные вычислительные системы для компиляции/сборки и постановки вычислительных задач на основе этих программ. Обеспечена возможность использовать программы на языке LuNA в качестве операций, которые могут быть включены в сложные сценарии вычислений, выполняемые под управлением HPC2C.

2) Разработана клеточно-автоматная модель потока в трубе с локальным сужением, имеющая целочисленный алфавит состояний клеток и синхронный режим работы. Создан комплекс параллельных программ для реализации потоковых процессов на основе целочисленных клеточно-автоматных моделей и проведены компьютерные эксперименты с клеточным массивом размером  $5000 \times 500$  клеток. Просвет сужения варьировался от 100 до 300 клеток. Концентрация частиц соответствует  $\sim 50$  на клетку. Поле скорости и поле давления исследуемого потока приведено на рисунке. Длина и направление векторов соответствуют модулю и направлению скорости потока в точке. Яркость фона пропорциональна давлению.

Показана возможность применения исследуемой модели в условиях движения потока в прямой трубе при постоянной температуре в докритическом режиме; в этих условиях критическое число Рейнольдса составляет несколько тысяч. Результаты моделирования совпадают с известными данными, это позволяет заключить, что клеточно-автоматная модель адекватно моделирует ламинарный поток в трубе (Рис. 1).

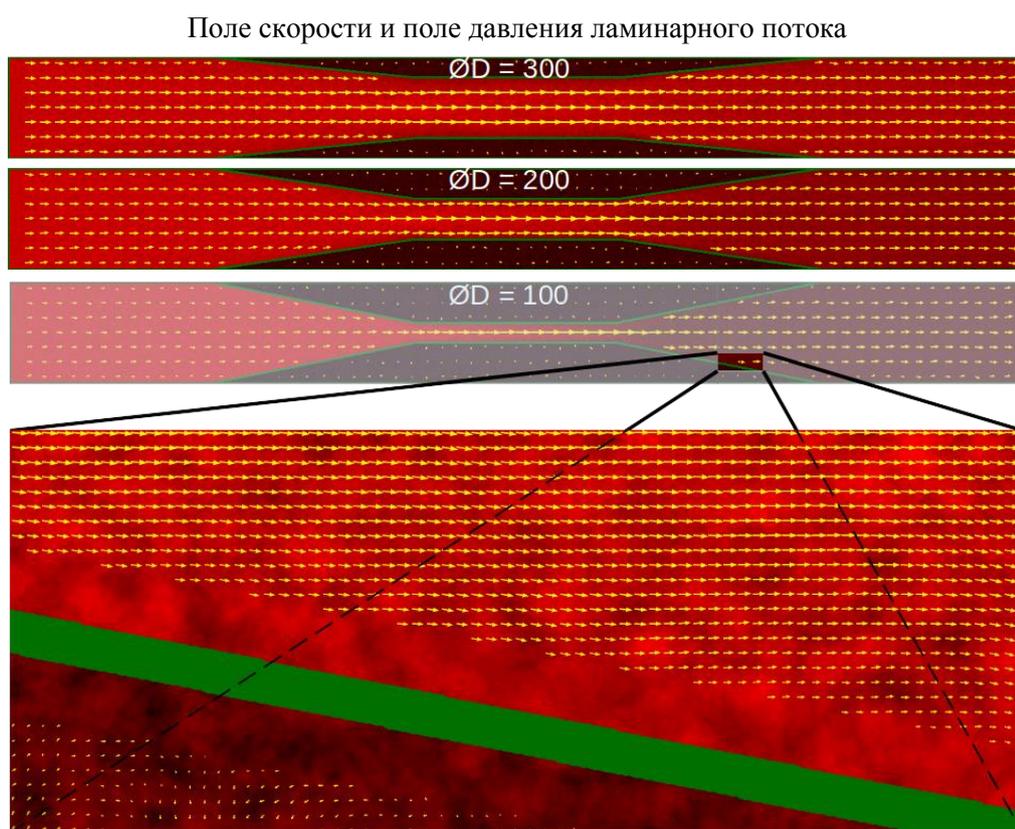


Рис. 1

Исследовано поведение клеточно-автоматной модели диффузии с целочисленным алфавитом состояний клетки в одномерном, двумерном и трехмерном пространствах. Одна и та же двумерная задача промоделирована с помощью одномерной и двумерной и трехмерной моделей. Приведено сравнение результатов.

Начальная концентрация в выбранной для анализа одномерной и двумерной задачах распределена в виде дельта-функции соответствующей размерности, которые имеют аналитическое решение. В начальный момент времени значение концентрации равно нулю всюду, кроме начала координат, где она полагается бесконечной, а интеграл концентрации равен единице. Размер клеточного массива, выбранный для проведения компьютерных экспериментов, составил 1000 клеток в каждом измерении. Распределение концентрации вдоль каждого направления совпадает с функцией Грина, являющейся решением уравнения диффузии соответствующей размерности для дельта-функции. На рисунке 2 изображено распределение концентрации, полученное с использованием двумерной и трехмерной моделей для одномерной и двумерной задач.

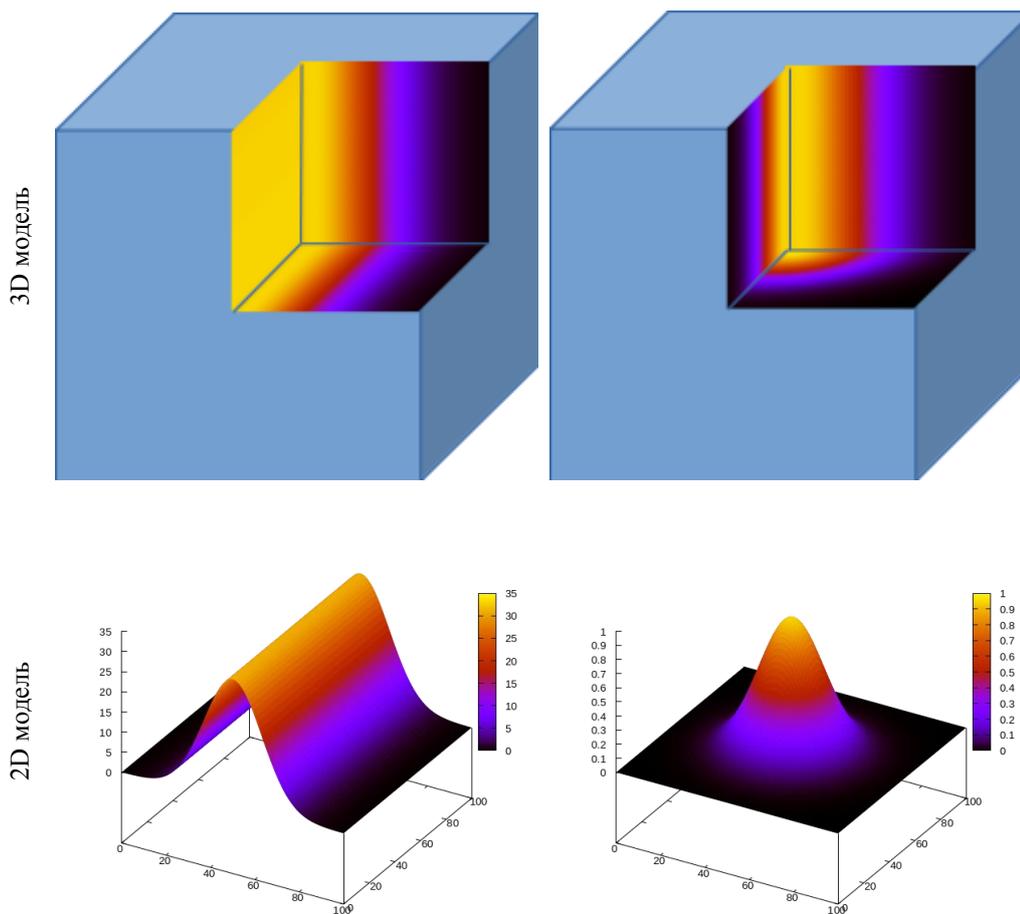


Рис. 2