

УТВЕРЖДАЮ

*И.О. директора Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института вычислительной математики и  
математической геофизики  
Сибирского отделения Российской академии наук*



д.т.н. Ковалевский В.В.

20 февраля 2017 г.

**Отзыв ведущей организации**

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института вычислительной математики и математической геофизики  
Сибирского отделения Российской академии наук  
на диссертацию Краснова Михаила Михайловича  
«Сеточно-операторный подход к программированию задач  
математической физики», представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных  
машин, комплексов и компьютерных сетей**

**Актуальность темы исследования.**

В конце прошлого века требования специалистов по математическому моделированию значительно превышали возможности доступных на то время высокопроизводительных вычислительных систем, что значительно ограничивало качество вычислительных экспериментов. С этого времени производительность вычислительных систем выросла на несколько порядков, и на сегодняшний день существуют, но лишь единичные, реализации вычислительных программных кодов для суперкомпьютеров петафлопсного класса, что снова ограничивает качество вычислительных экспериментов. Одной из существенных проблем при создании таких программных кодов является отсутствие средств разработки высокого уровня, которые позволяют создавать программное обеспечение на уровне математических операторов. Использование математических операторов позволит скрыть вопросы использования конкретной архитектуры суперЭВМ и сконцентрироваться на реализации вычислительной схемы. Для решения большинства вычислительных задач желательно использовать наиболее мощные из доступных суперЭВМ, большая часть которых в настоящее время основана на гибридных архитектурах, в основе которых лежит использование графических

ускорителей или ускорителей Intel Xeon Phi. Разработка программ для таких архитектур являются отдельными сложными научными задачами, что ещё более ограничивает возможности создания нового программного обеспечения петафлопсного класса. Поэтому **актуальным** является создание высокоуровневого подхода к разработке таких программ. Именно такой сеточно-операторный подход к программированию задач математической физики и разработан в диссертации Краснова М.М.

**Научная новизна исследований** заключается в следующем:

- 1) введено новое понятие программного оператора – функции произвольной сложности, являющимся программной реализацией математического оператора;
- 2) введена новая система понятий, обеспечивающая реализацию разработанного сеточно-операторного подхода;
- 3) разработана новая библиотека, реализующая систему программных операторов и вспомогательных объектов для различных архитектур суперЭВМ.

**Практическая значимость результатов.**

Использование сеточно-операторного подхода позволяет достаточно просто решить проблему переносимости программных реализаций с классических типов суперЭВМ на гибридные архитектуры. В соответствии с таким подходом была разработана сеточно-операторная библиотека `gridmath` для реализации методов решения гиперболических уравнений на прямоугольных сетках. В дальнейшем библиотека была расширена на использование локально-адаптивных и тетраэдральных сеток. С помощью библиотеки были численно решены квазигидродинамические уравнения, уравнения диффузии и газовой динамики, уравнения теплопроводности.

**Обоснованность и достоверность научных положений и результатов.**

В диссертации Краснова М.М. на защиту вынесены:

- 1) новый подход к программированию для класса математических вычислений на различных типах сетках;
- 2) новая система понятий, обеспечивающая эффективную реализацию сеточно-операторного подхода;
- 3) новый комплекс библиотек, демонстрирующий эффективность разработанного подхода.

Обоснованность и достоверность защищаемых положений не вызывает сомнений. Сеточно-операторный подход основан на использовании

современных средств параллельного программирования, развитого математического аппарата численных методов и верификации реализации на решении прикладных задач.

### **Апробация результатов исследования.**

Положения и выводы, сформулированные в диссертации, получили высококвалифицированную апробацию на международных и российских научных конференциях и семинарах. Особо стоит отметить доклад на Национальном суперкомпьютерном форуме в 2013 году, в котором было сформулировано ядро сеточно-операторного подхода для гибридных суперЭВМ. Достоверность также подтверждается публикациями результатов исследования в рецензируемых научных изданиях, в том числе, рекомендованных ВАК.

### **Основное содержание работы.**

Во **введении** сформулированы актуальность темы исследования, цели диссертационной работы, постановка задачи, научная новизна работы, практическая значимость и защищаемые положения.

В **первой главе** приведен обзор существующих работ, направленных, с одной стороны, на сокращение способов записи сложных математических формул, а с другой стороны, на облегчение программирования на классических и гибридных суперЭВМ.

Во **второй главе** введено общее описание сеточно-операторного подхода, его назначение, область применимости, описание типов обрабатываемых данных и возможные ограничения. Вводятся основные термины, описываются взаимосвязи основных объектов библиотеки.

В **третьей главе** описываются принципы реализации библиотеки, реализующей сеточно-операторный подход, а также использованные программные технологии.

В **четвертой главе** описываются приложения, написанные с использованием сеточно-операторного подхода к программированию. С помощью этой библиотеки был решён ряд задач математической физики, в частности, реализован многосеточный метод на трёхмерных регулярных и локально-адаптивных сетках. На трёхмерных нерегулярных тетраэдральных сетках был реализован разрывный метод Галёркина. На трёхмерных

регулярных сетках был реализован тест MG (multigrid) из набора тестов NAS Parallel Benchmarks, позволивший сравнить эффективность разных реализаций одной задачи. На одномерной сетке был реализован метод ENO.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы.

### **Замечания по диссертации.**

- 1) Современные задачи математического моделирования используют технологии подвижных сеток. Такие сетки позволяют увеличить точность при воспроизведении особенностей решения. В диссертации не обсуждены возможности разработанного сеточно-операторного подхода для реализации технологий подвижных сеток.
- 2) В программной реализации учтено выполнение библиотеки на ускорителях Intel Xeon Phi. Но основная производительность ускорителя обеспечивается низкоуровневыми векторными инструкциями. Использование таких средств программирования в разработанной библиотеке не рассмотрены.
- 3) При реализации сеточно-операторного подхода используются сложные конструкции языка C++. Это требует высокой программистской квалификации специалистов в области математического моделирования, что не всегда имеет место. Это является недостатком.

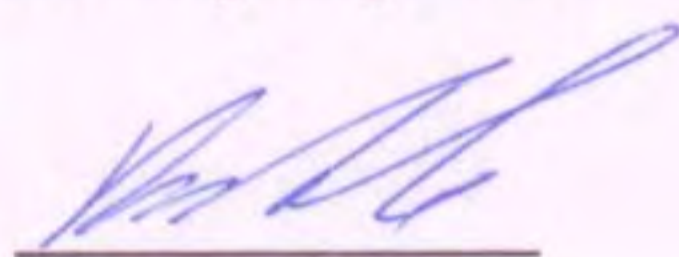
Сделанные замечания не снижают высокую научную оценку работы.

### **Заключение.**

Диссертационная работа Краснова М.М. выполнена на высоком научном уровне, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, обеспечившее решение научной проблемы, имеющей важное значение для развития приоритетных для РФ направлений развития науки, технологий и техники. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Диссертационная работа Краснова М.М. и отзыв на нее обсуждены и одобрены на расширенном заседании научного семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, в том числе лаборатории Параллельных алгоритмов решения больших задач, 13 февраля 2017 года, протокол № 1.

Заведующий лабораторией Параллельных алгоритмов решения больших задач д.ф.-м.н., профессор, специальность 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ



Вшивков Виталий Андреевич

Старший научный сотрудник лаборатории Численного анализа и машинной графики д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, специальность 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ



Лазарева Галина Геннадьевна

Научный сотрудник лаборатории Параллельных алгоритмов решения больших задач к.ф.-м.н., специальность 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ



Куликов Игорь Михайлович

630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт вычислительной математики и математической геофизики  
Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН)  
Тел.: +7 (383) 330-83-53 e-mail: [director@sscc.ru](mailto:director@sscc.ru)  
URL: <http://icmmg.nsc.ru/>

Подписи Вшивкова В.А., Лазаревой Г.Г. и Куликова И.М. удостоверяю.  
Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук,

к.ф.-м.н.



Марченко Михаил Александрович  
15 февраля 2017 г.

