

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПШОНЕНТА

на диссертацию Ляховца Дмитрия Сергеевича «Методы и средства имитационного моделирования систем управления заданиями для высокопроизводительных вычислений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Актуальность темы исследования

Развитие суперкомпьютерных центров коллективного пользования представляет собой важную научно-техническую задачу государственного уровня. Основной единицей научного оборудования суперкомпьютерного центра является высокопроизводительная вычислительная система, обрабатывающая поток пользовательских заданий. Управление пользовательскими заданиями на всех этапах их жизненного цикла обеспечивает система управления заданиями (СУЗ). В настоящий момент мировыми лидерами в этой области являются такие системы, как Slurm, PBS, IBM Spectrum LSF.

СУЗ является одним из ключевых элементов суперкомпьютера, и от качества планирования заданий в СУЗ зависит эффективность использования вычислительной системы в целом. Качество планирования определяется множеством показателей, таких как загрузка вычислительных ресурсов, среднее значение времени нахождения задания в очереди, темп обработки и другие. Показатели зачастую взаимосвязаны, и улучшение одного показателя может привести к ухудшению другого. В СУЗ могут применяться различные алгоритмы планирования, политики квотирования ресурсов, выделяются классы задач по значимости с различными режимами планирования, реализуются различные стратегии учета приоритетов и способы вытеснения задач. Остро встает вопрос о повышении эффективности использования имеющихся в наличии суперкомпьютерных ресурсов за счёт поиска оптимальных параметров

СУЗ. Проведение подобного поиска на реальном суперкомпьютере сопряжено с рядом трудностей, таких как дороговизна проведения повторных расчетов и потенциальное негативное влияние изменений параметров и алгоритмов СУЗ на показатели качества. В этой связи актуальными представляются исследования и разработки методов и средств моделирования СУЗ для анализа и улучшения характеристик систем управления заданиями, что является целью диссертационной работы Д.С. Ляховца.

Для достижения цели в диссертации поставлены и решены две частные задачи исследования. Первой актуальной задачей обозначена оценка точности имитационных моделей при помощи количественного показателя, который позволяет ранжировать модели по точности. Известные методы оценки точности имитационной моделей основаны либо на визуальном сравнении графиков показателей качества, либо на сравнении интегральных показателей. Решаемая в диссертации задача оценки точности с помощью количественного показателя способствует совершенствованию инструментов имитационного моделирования.

Второй, не менее актуальной задачей является снижение накладных расходов на инициализацию заданий за счет группировки заданий одного типа с однократной инициализацией. Примерами заданий с большими накладными расходами на инициализацию являются задания, требующие перепрограммирования ускорителей на базе программируемых логических интегральных схем, развертывания виртуальных машин или контейнеров, инициализацию программы обработки задания и другие длительные действия. Решаемая в диссертации задача разработки методики пакетирования заданий по типам для снижения способствует совершенствованию инструментов для снижения накладных расходов на обработку заданий.

Таким образом, тему представленного в работе исследования, а также решаемые в диссертации научные задачи по построению средств

имитационного моделирования с оценкой точности и снижения накладных расходов на обработку заданий с длительным временем инициализации следует признать актуальными и имеющими важное практическое значение.

Характеристика работы

Диссертационная работа структурно состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем работы составляет 125 страниц, включает 38 рисунков и 15 таблиц. Библиографический список содержит 122 наименования.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель и задачи работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, раскрыта их научная новизна. Дана характеристика теоретической и практической значимости полученных результатов, подкреплённая сведениями об их апробации.

Первая глава представляет собой исследование современного состояния проблемы управления заданиями в суперкомпьютерах. Автор анализирует существующие подходы и на их основе представляет модель обработки заданий, позволяющую формализовать ключевые показатели качества функционирования СУЗ. Представлена классификация заданий по величине накладных расходов на обработку (НРО) и выявлены ограничения существующих методов и средств пакетирования заданий, которые не позволяют учитывать разные типы заданий при формировании пакетов. На основе критического анализа сформулированы требования к разрабатываемым решениям.

Вторая глава содержит описание нового метода имитационного моделирования СУЗ. Важным результатом является введение количественного показателя близости выходных потоков заданий, основанного на сравнении векторов времен пребывания заданий в системе. На его основе предложен метод имитационного моделирования, который отличается от аналогов поддержкой

итеративного процесса настройки параметров модели и возможностью интеграции с реальными СУЗ. Экспериментальная проверка на пяти различных моделях СУЗ подтвердила способность метода адекватно ранжировать модели по точности.

Третья глава представляет методику формирования пакетов заданий по типам и архитектуру программного комплекса имитационного моделирования. Разработанная методика формирования пакетов заданий по типам позволяет уменьшить накладные расходы на инициализацию заданий за счет объединения заданий, при этом для обработки сформированного пакета заданий динамически определяется требуемое число вычислительных узлов для его обработки. Предложенная архитектура программного комплекса имитационного моделирования позволяет применить разработанные метод и методику в одном инструменте, пригодном для интеграции с различными СУЗ без модификации их исходного кода. В архитектуре предложен механизм обратной связи, позволяющий осуществлять адаптивную настройку параметров в соответствии с характеристиками входного потока.

Четвертая глава содержит результаты экспериментального исследования, подтверждающие эффективность предложенных решений. Проведенные три серии экспериментов демонстрируют: значительное повышение полезной загрузки вычислителя при использовании методики формирования пакетов заданий по типам; определение границ применимости методики в зависимости от характеристик входного потока; установление зависимостей между показателем масштабирования и качеством обработки заданий. Автором исследованы две группы по три входных потока в каждой с различными параметрами.

В **заключении** систематизированы основные научные и практические результаты, подтверждающие решение поставленных задач и достижение цели диссертационного исследования.

Структура диссертации логична и отражает последовательность решения поставленных задач. Стил ь изложения выдержанный. Автореферат диссертации адекватно отражает ее содержание.

Характеристика результатов (новизна, достоверность и обоснованность)

Считаю, что новыми являются следующие результаты:

1. Разработанный метод имитационного моделирования систем управления заданиями с поддержкой итеративного процесса настройки параметров модели. Для сравнительной оценки точности различных имитационных моделей в методе использован количественный показатель близости выходных потоков заданий.

2. Разработанная методика формирования пакетов заданий по типам. Методика позволяет сгруппировать задания одного типа в одно мета-задание (пакет заданий) с однократной инициализацией используемых для его расчета вычислительных узлов. При формировании мета-задания учитывается приоритет, время ожидания и целесообразность формирования пакета. Для методики впервые определены границы применимости в виде минимальных значений накладных расходов на обработку задания для входных потоков различной интенсивности и однородности.

3. Разработанная архитектура программного комплекса имитационного моделирования систем управления заданиями. Архитектура обеспечивает интеграцию с СУЗ без модификации их исходного кода и реализует механизм обратной связи для адаптивной настройки параметров моделирования в соответствии с характеристиками входного потока заданий. Формирование пакетов заданий по типам позволяет не задействовать механизмы планирования реальной СУЗ и по мере освобождения вычислительных узлов обрабатывать мета-задания, содержащие множество заданий одного типа.

Выносимые на защиту положения и выводы работы основаны на анализе предметной области и подкреплены результатами экспериментов. Предложенный метод имитационного моделирования с использованием показателя близости выходных потоков заданий проверен на реальных данных суперкомпьютера МВС-10П ОП, установленного в Межведомственном суперкомпьютерном центре РАН. Результаты проведенных серий экспериментов корректно обобщены и подтверждают положения, выносимые на защиту.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается результатами проведённого имитационного моделирования на различных данных, в том числе статистике реального суперкомпьютера. Рассмотренная в диссертации методика экспериментального исследования в достаточной степени обоснована, выводы автора при обобщении результатов эксперимента логичны и непротиворечивы. Достоверность подтверждается также апробацией на многочисленных научных конференциях и публикацией результатов в ведущих рецензируемых научных отечественных и зарубежных журналах.

Практическая значимость. Предлагаемые автором метод имитационного моделирования, методика формирования пакетов заданий по типам и архитектура программного комплекса имитационного моделирования реализованы в виде программного комплекса, для которого получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Реализованный программный комплекс использован при совершенствовании систем управления задания в центрах коллективного пользования в МСЦ РАН – Отделении суперкомпьютерных систем и параллельных вычислений НИЦ «Курчатовский институт» при выполнении 7 научно-исследовательских работ по программам фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 и на 2021-2030 годы, а также может быть применен

для исследования и оптимизации характеристик СУЗ в суперкомпьютерных центрах коллективного пользования.

Замечания по работе

По диссертации имеются следующие замечания.

1. В формуле (4) на странице 21 не определено значение показателя α_i . Без этого не до конца понятен смысл показателя S_{work} .

2. При рассмотрении методики формирования заданий по типам не рассмотрен вопрос важности задания для заказчика. На практике достаточно часто встречается ситуация, когда отдельное высокоприоритетное задание должно быть выполнено в ущерб остальным. Хотелось бы рассмотреть, как возможно реализовать приоритетную обработку выделенных заданий в рамках предлагаемой методики.

3. Из текста работы не ясно, проводились ли исследования по интеграции разработанного автором программного комплекса имитационного моделирования с известными СУЗ, например, SLURM.

Заключение

Отмеченные замечания не меняют положительного впечатления о диссертационной работе. В диссертации, которая представляет собой завершённое научное исследование, излагаются результаты решения актуальной задачи разработки методов и средств имитационного моделирования систем управления заданиями для высокопроизводительных вычислений.

В диссертации Ляховца Д.С. представлен комплекс новых научно обоснованных технических, технологических и архитектурных решений, внедрение которых вносит вклад в развитие суперкомпьютерных систем как составной части научной инфраструктуры страны.

Считаю, что диссертация Ляховца Д.С. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей», а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по этой специальности.

Алексей Олегович Игнатьев
« 12 » ноября 2025 г.

Подпись официального оппонента Игнатьева Алексея Олеговича заверяю

Ученый секретарь НТС ФГУП «РФЯЦ-
ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»
кандидат физико-математических наук ,

В.Н. Ногин

М.П.

Официальный оппонент: Игнатьев Алексей Олегович – кандидат технических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), начальник лаборатории – заместитель начальника отдела в Российском федеральном ядерном центре – Всероссийском научно-исследовательском институте технической физики им. академика Е. И. Забабахина.

Сведения об организации:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (РФЯЦ – ВНИИТФ)

456770, Снежинск, Челябинская область, ул. Васильева, 13, а/я 245.

Телефоны: 8 (351-46) 5-51-20, 5-43-67

Адрес электронной почты: vniitf@vniitf.ru

Адрес в сети Интернет: <https://vniitf.ru/>