

Высокопроизводительные вычислительные системы. Развитие нормативно-технической базы

А. В. Алексеев, А. В. Чернов, К. А. Субарева, А. А. Холостов, В. А. Свиридов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Нижегородская обл., Россия

Аннотация. В настоящее время в Российской Федерации отсутствует нормативно-техническая база, касающаяся вопросов определения требований к высокопроизводительным вычислительным системам. Высокопроизводительные вычислительные системы являются отдельным видом продукции со своими свойствами и характеристиками, которые обуславливают необходимость разработки соответствующих нормативно-технических документов. В данной статье описан опыт работы технического комитета по стандартизации «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии» в развитии нормативно-технической базы, устанавливающей специфические требования для высокопроизводительных вычислительных систем.

Ключевые слова: высокопроизводительная вычислительная система, приемочные испытания, стандартизация, нормативно-техническая база, тестовая программа.

DOI 10.14357/20718632220301

Введение

На современном этапе развития науки и техники все более определяющее значение приобретает применение современных технологий компьютерного моделирования. Использование компьютерного моделирования на всех этапах жизненного цикла изделий промышленности позволяет оптимизировать состав и количество натурных испытаний, сократить затраты на разработку и обеспечение эксплуатации создаваемого изделия. Очевидно, что обязательным инструментом для компьютерного моделирования помимо программного обеспечения служит вычислительная система, причем использование комплексных моделей, цифровых двойников изделий, предполагает применение высокопроизводительных вычислительных систем (далее ВВС).

Современные ВВС представляют собой взаимосвязанный комплекс аппаратно-программного

обеспечения, используют сложные математические алгоритмы параллельных вычислений и являются весьма дорогостоящими изделиями. Параметры, обеспечивающие эффективную эксплуатацию, закладываются в процессе разработки ВВС. Важной стадией создания ВВС является этап приемочных испытаний, которые должны подтверждать параметры и характеристики изделия, заявленные в техническом задании на разработку изделия, а также эффективность применения ВВС для определенных областей компьютерного моделирования.

Существующие нормативно-технические документы, например, ГОСТ 34.603–92 [1], ГОСТ Р 15.301–2016 [2], определяют лишь общие требования к приемочным испытаниям изделий, как к одному из этапов жизненного цикла.

В серию стандартов 34 заложены требования для автоматизированных систем (АС) в целом. Стандарт ГОСТ Р 34.603–92 распространяется на создаваемые в организациях АС,

используемые в различных видах деятельности (исследование, проектирование, управление и т.п.), включая их сочетания. Стандарт устанавливает виды испытаний АС и общие требования к их проведению. В данном стандарте определены следующие основные виды испытаний для АС: предварительные испытания, опытная эксплуатация, приемочные испытания.

ГОСТ Р 15.301–2016 устанавливает порядок разработки и постановки на производство продукции производственно-технического назначения, в том числе правила разработки технического задания, конструкторской и технологической документации, приемки результатов разработки, подготовки и освоения производства, проведения испытаний опытных образцов продукции и продукции, изготовленной при освоении производства, а также правила подтверждения их соответствия обязательным требованиям.

Данные стандарты не учитывают особые требования, предъявляемые к ВВС, и, в частности, не регламентируют процедуру и методику проведения приемочных испытаний, основанную на применении специального тестового программного обеспечения. Таким образом, учет специфических особенностей ВВС, как отдельного вида продукции при отсутствии развитой системы нормативно-технических документов в области вычислительной техники и компьютерного моделирования требуют создания специальных стандартов.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» является организацией, ответственной за реализацию приоритетного технологического направления «Технологии высокопроизводительных вычислений, включая суперкомпьютерные технологии». Одной из важных задач приоритетного технологического направления является формирование нормативно-технической базы, определяющей требования ко всем элементам компьютерного моделирования, а именно:

- к программному обеспечению компьютерного моделирования (верификация и валидация, подтверждение соответствия заявляемым требованиям);
- к компьютерным моделям (порядок разработки, валидация, цифровые (виртуальные) испытания);

- к аппаратно-программному обеспечению – вычислительной технике, которая используется при моделировании.

Для обеспечения формирования нормативно-технической базы в указанной области ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» активно участвует в деятельности технического комитета по стандартизации «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии» (далее ТК 700). В состав ТК 700 входят около 40 научных организаций и предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности РФ. Основным направлением деятельности ТК 700 является формирование нормативно-технической базы с целью широкого применения компьютерного моделирования на всех этапах жизненного цикла изделий. С 2014 года, когда ТК 700 начал свою деятельность, разработано более 30 национальных стандартов (ГОСТ Р), регламентирующих различные аспекты компьютерного моделирования. С 2020 года ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» выполняет функции секретариата ТК 700.

В рамках реализации указанного выше приоритетного технологического направления была разработана «Программа стандартизации в области разработки и применения компьютерных моделей и электронных конструкторских документов на изделия военной техники на 2020–2025 годы» (согласована с Росстандартом, Минобороны России, утверждена Минпромторгом России, далее – Программа стандартизации).

С учетом опыта ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в области создания и эксплуатации ВВС в рамках Программы стандартизации в том числе были предусмотрены работы по стандартизации в области ВВС.

Неотъемлемым этапом создания любого изделия являются приемочные испытания, именно в рамках данного этапа наиболее ярко проявляются особенности ВВС, как особого вида изделия. В связи с этим первым стандартом в серии стал нормативно-технический документ, посвященный требованиям к приемочным испытаниям [3].

Основа приемочных испытаний ВВС – это всестороннее тестирование аппаратно-программных компонент и системы в целом с помощью специального тестового программного обеспе-

чения. Таким образом, вторым стандартом в рассматриваемой серии был разработан стандарт, регламентирующий требования к тестовым программам [4].

Также выполненный в ходе разработки Программы стандартизации анализ существующей на тот момент нормативно-технической базы показал, что на уровне стандартов практически отсутствует система терминов и определений, отражающих современный уровень развития вычислительной техники, особенно в части многопроцессорных ЭВМ, к классу которых принадлежат ВВС. В результате, был разработан стандарт, содержащий набор актуальных терминов и определений, относящихся к ВВС [5].

Далее в статье рассматриваются основные положения нормативно-технических документов, упомянутых выше.

1. ГОСТ Р 57700.27–2020

«Высокопроизводительные вычислительные системы. Термины и определения»

Термины и определения сгруппированы в стандарте по нескольким категориям:

1. Общие понятия.

Рассматриваются термины, связанные с типами ВВС, подсистемами (вычислительная, коммуникационная, файловая и т.п.), архитектурой вычислителей (MIMD, SIMD и т.п.).

2. Аппаратное обеспечение.

Прежде всего, вводятся понятия вычислительного узла, процессора, ядра, ускорителя. Также рассматриваются термины, связанные с коммуникационной подсистемой (коммутатор, канал связи, маршрут).

3. Программное обеспечение.

Определяются термины процесса, потока, параллельных вычислений, моделей распараллеливания, векторизации и т.п.

4. Параметры и характеристики высокопроизводительной вычислительной системы.

Определяются такие термины, как теоретическая пиковая и реальная производительность, пропускная способность, задержка, коэффициент ускорения и методы его определения, эффективность распараллеливания.

Всего в рассматриваемом стандарте дано определение 108 терминов, для каждого из них приводятся эквиваленты на английском языке.

2. ГОСТ Р 57700.26–2020

«Высокопроизводительные вычислительные системы. Требования приемочных испытаний»

Рассматриваемый нормативно-технический документ определяет и конкретизирует требования к приемочным испытаниям ВВС, регламентирует процедуру тестирования и устанавливает необходимый набор технической и отчетной документации. Стандарт относится к ВВС универсального назначения, применяемых для решения широкого круга задач компьютерного моделирования с использованием алгоритмов распараллеливания.

Прежде всего, в разделе «Общие положения» в качестве объекта испытаний определяется опытный образец ВВС либо составная часть ВВС (СЧ ВВС). Проверка работоспособности и определение отдельных параметров ВВС (СЧ ВВС) на испытаниях выполняется согласно требованиям к процедуре тестирования, указанным в рассматриваемом стандарте.

В разделе «Требования к порядку проведения испытаний» определяются:

1. Этапы испытаний: предварительные испытания, опытная эксплуатация, приемочные испытания.

2. Участники каждого этапа испытаний.

3. Порядок проведения испытаний.

4. Необходимая документация, включая протокол и акт испытаний, а также их содержание.

5. Порядок устранения выявленных в ходе приемочных испытаний недостатков.

Особое внимание уделено порядку проведения приемочных испытаний ВВС. Так, стандарт предполагает проверку ВВС по трем основным направлениям: архитектура и аппаратные средства, системное программное обеспечение, конструкторская документация. Для проверки ВВС по каждому из этих направлений при необходимости формируются рабочие группы, в стандарте определены функции рабочих групп.

Важной особенностью испытаний ВВС является наличие процедуры проверки технических характеристик и параметров ВВС с помощью тестовых программ. Описанию данной процедуры посвящен отдельный раздел стандарта.

Тестирование ВВС выполняется в процессе проведения предварительных и приемочных испытаний с помощью тестовых программ, соответствующих требованиям [4]. Тестирование проводится по нескольким направлениям, позволяющим объективно подтвердить параметры ВВС, заявленные в техническом задании, а также дать количественную оценку характеристик ВВС в целом и отдельных параметров.

Основными направлениями тестирования ВВС являются:

1. Оценка параметров вычислительного узла (пропускная способность оперативной памяти и производительность вычислительных устройств).

2. Оценка производительности коммуникационной среды (пропускная способность, поддержка каналов и коммуникационной подсистемы ВВС).

3. Оценка производительности параллельной файловой системы.

4. Проверка правильности выполнения вычислений при запуске тестов на количестве вычислительных узлов, близком к максимальному для ВВС.

5. Оценка коэффициента ускорения и эффективности распараллеливания. Эти параметры определяются для различного количества вычислительных узлов - от одного до максимального. Рекомендуется использовать метод слабого масштабирования. Для ВВС большой производительности ускорение и эффективность распараллеливания определяются относительно одного вычислительного узла (все вычислительные устройства в узлах должны быть задействованы). Особенно данное положение актуально для ВВС, вычислительные узлы которых являются гетерогенными. Для ВВС небольшой производительности значения коэффициента ускорения и эффективности распараллеливания можно определять относительно одного вычислительного ядра.

6. Оценка реальной производительности ВВС выполняется специальными тестами, которые за-

пускают на максимально возможном для таких тестов количестве вычислительных узлов ВВС.

7. Проверка работоспособности ВВС при полной вычислительной загрузке осуществляется посредством специальных тестов, обеспечивающих максимальную интенсивность использования ВУ (например, HPL [6]). Запуск теста выполняют на максимально возможном для такого теста количестве вычислительных узлов ВВС. Длительность выполнения теста должна составлять не менее двух часов. Во время этого теста осуществляется замер реального энергопотребления ВВС.

8. Проверка технологического процесса счета задач (ввод заданий, распределение заданий, вывод информации и т.д.) осуществляется посредством так называемого «комплексного теста». Комплексный тест проверяет работу ВВС в многозадачном режиме, соответствующем условиям производственной эксплуатации. Для выполнения комплексного теста формируется очередь пакетных заданий из тестовых задач и выполняется запуск сформированных заданий на счет. Общая длительность комплексного теста должна быть не менее восьми часов.

9. С целью сокращения времени приемочных испытаний допускается по решению комиссии использовать результаты тестовых запусков, выполненных в процессе проведения предварительных испытаний ВВС с выборочной проверкой путем перезапуска ряда тестовых задач.

3. ГОСТ Р 57700.18–2019

«Высокопроизводительные вычислительные системы. Требования к тестовым программам приемочных испытаний»

Как уже говорилось выше, проверка общей работоспособности ВВС на испытаниях, а также оценка соответствия отдельных параметров, заявленных в техническом задании, выполняется с помощью набора тестовых программ. Кроме этого, тестовые программы широко используются на этапе разработки ВВС.

Для систематизации информации о тестовых программах был создан отдельный документ, который определяет требования к номенклатуре и

функциональности тестовых программ, применяемых при разработке ВВС, а также при проведении приемочных испытаний ВВС с целью получения оценки работоспособности ВВС в целом и количественной оценки отдельных параметров.

Прежде всего, в рассматриваемом стандарте приводится классификация тестовых программ. По своему назначению и содержанию тесты разделяют на четыре группы:

- специальные тесты для количественной оценки отдельных компонент и характеристик ВВС (например, HPL [6], Stream [7], IOR [8], b_eff [9], HPCG [10]);

- международные прикладные тесты для оценки производительности, эффективности распараллеливания, а также оценки отдельных параметров ВВС (например, NPV [11]);

- методические прикладные тесты для оценки правильности функционирования, эффективности распараллеливания и производительности ВВС. Эти тесты могут создаваться организацией – пользователем ВВС либо сторонней организацией (примеры методических прикладных тестов изложены, в частности, в работе [12]);

- производственные тесты для оценки работоспособности и надежности ВВС на характерных для организации – пользователя задачах с использованием программного обеспечения компьютерного моделирования (ПО КМ). Они могут создаваться организацией – пользователем ВВС либо сторонней организацией.

Некоторые требования являются общими для всех тестовых программ. В частности, тесты содержат описание функциональных возможностей и инструкцию по применению. Ниже для каждой группы тестовых программ сформулированы специфические требования.

Так, специальные тесты должны:

- являться свободно распространяемыми с открытым исходным кодом (возможность модификации теста определяется документацией);

- быть общепризнанными на мировом уровне;

- быть доступными для большого числа разного по архитектуре аппаратно-программного обеспечения (переносимость).

Международные прикладные тесты должны:

- содержать актуальные алгоритмы моделирования физических процессов и методы распараллеливания;

- являться свободно распространяемыми с открытым исходным кодом (возможность модификации теста определяется документацией);

- быть общепризнанными на мировом уровне;

- обеспечивать оценку правильности функционирования ВВС;

- обеспечивать оценку производительности ВВС, выраженную в количестве операций с плавающей запятой в секунду либо в других единицах;

- позволять использовать все вычислительные ресурсы вычислительного узла и ВВС в целом.

Методические прикладные тесты должны:

- содержать численные алгоритмы моделирования физических процессов и методы распараллеливания, характерные для ПО КМ организации – пользователя ВВС;

- быть доступными вместе с исходными текстами;

- обеспечивать оценку правильности функционирования ВВС;

- обеспечивать оценку производительности ВВС;

- обеспечивать оценку эффективности распараллеливания ВВС методом слабого масштабирования;

- позволять использовать все вычислительные ресурсы вычислительного узла и ВВС в целом;

- обеспечивать возможность изменения параметров для оптимальной адаптации к аппаратному и системному программному обеспечению тестируемой ВВС.

Наконец, производственные тесты должны:

- являться образцами ПО КМ организации – пользователя ВВС (в том числе могут быть коммерческим программным обеспечением);

- обеспечивать оценку правильности функционирования ВВС на задачах, характерных для организации – пользователя ВВС.

Заключение

Рассмотрены результаты деятельности ТК 700 по регламентации требований в области высокопроизводительной вычислительной техники. Первые результаты этой работы отражены в трех национальных стандартах, определяющих терминологию, порядок проведения приемочных испытаний ВВС, а также требования к тестовым программам.

Данные стандарты, на наш взгляд, создают неплохую основу для дальнейшей работы по упорядочиванию процессов создания и эксплуатации высокопроизводительной вычислительной техники в РФ.

В настоящее время работа ТК 700 в данном направлении продолжается. Так, в 2021 году специалистами ФГУП «ГосНИИАС» был разработан ГОСТ Р 57700.36–2021 «Высокопроизводительные вычислительные системы. Оценка производительности высокопроизводительных вычислительных систем на алгоритмах, использующих сверточные нейронные сети», рассматривающий другое относительно высокопроизводительных вычислений применение ВВС.

В дальнейшем планируется разработка стандарта, который определит требования к построению, содержанию, изложению и оформлению технического задания на выполнение опытно-конструкторской работы по созданию (модернизации) ВВС, а также порядок его согласования, утверждения и внесения изменений в утвержденное техническое задание.

Литература

1. ГОСТ 34.603–92. Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем. – Москва: Стандартинформ, 2009. – I, 5 с.
2. ГОСТ Р 15.301–2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. – Москва: Стандартинформ, 2018. – III, 11, [1] с.
3. ГОСТ Р 57700.26–2020. Высокопроизводительные вычислительные системы. Требования приемочных испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2020. – IV, 7, [1] с.
4. ГОСТ Р 57700.18–2019. Высокопроизводительные вычислительные системы. Требования к тестовым программам приемочных испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2019. – II, 5, [1] с.
5. ГОСТ Р 57700.27–2020. Высокопроизводительные вычислительные системы. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2018. – IV, 15, [1] с.
6. Информация о HPL [Электронный ресурс]. URL: <http://icl.cs.utk.edu>.
7. Информация о Stream [Электронный ресурс]. URL: http://reality.sgi.com/employees/mccalpin_asd.
8. Информация о IOR [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/VI4IO/ior-500-dev>.
9. Информация о b_eff [Электронный ресурс]. URL: www.hlr.de/mpl/b_eff.
10. Информация о HPCG [Электронный ресурс]. URL: www.hpcg-benchmark.org.
11. Информация о NPB [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nas.nasa.gov/Software/NPB>.
12. Алексеев А.В., Беляев С.П., Бочков А.И., и др. Методические прикладные тесты РФЯЦ-ВНИИЭФ для численного исследования параметров высокопроизводительных вычислительных систем // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2020. Вып. 2. С. 86–100.

Алексеев Александр Витальевич. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), г. Саров, Нижегородская обл., Россия. Ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Количество печатных работ: 21. Область научных интересов: стандартизация, цифровые технологии, высокопроизводительные вычислительные системы. E-mail: AVAlekseev@vniief.ru.

Чернов Александр Владимирович. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), г. Саров, Нижегородская обл., Россия. Начальник научно-исследовательской группы. Количество печатных работ: 5. Область научных интересов: стандартизация, цифровые технологии, высокопроизводительные вычислительные системы. E-mail: AIVChernov@vniief.ru.

Субарева Кристина Алексеевна. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), г. Саров, Нижегородская обл., Россия. Математик. Количество печатных работ: 0. Область научных интересов: стандартизация. E-mail: kasubareva@vniief.ru.

Холостов Алексей Александрович. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), г. Саров, Нижегородская обл., Россия. Начальник научно-исследовательского отдела. Количество печатных работ: 6. Область научных интересов: высокопроизводительные многопроцессорные вычислительные комплексы и специализированные цифровые устройства. E-mail: AAHolostov@vniief.ru.

Свиридов Валерий Александрович. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), г. Саров, Нижегородская обл., Россия. Заместитель начальника научно-исследовательского отдела – начальник научно исследовательской лаборатории. Количество печатных работ: 1. Область научных интересов: высокопроизводительные вычислительные системы. E-mail: VASviridov@vniief.ru.

High-Performance Computing Systems. Development of Normative Base

A. V. Alekseev, A. V. Chernov, K. A. Subareva, A. A. Holostov, V. A. Sviridov

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov, N. Novgorod region, Russia

Abstract. Currently, the Russian Federation does not have a regulatory and technical framework for determining requirements for high-performance computing systems. High-performance computing systems are a separate type of product with their own properties and characteristics that necessitate the development of appropriate regulatory and technical documents. This article describes the experience of the Technical Committee for Standardization «Mathematical modeling and high performance computing technologies» in developing a regulatory and technical framework that establishes specific requirements for high-performance computing systems. The results of this work are reflected in three national standards defining the terminology, the procedure for conducting acceptance tests of high-performance computing systems, as well as the requirements for test programs.

Keywords: high-performance computing system, acceptance testing, standardization, regulatory and technical framework, test program.

DOI 10.14357/20718632220301

References

1. GOST 34.603–92. 2009. Information technology. Types tests automated systems. Moscow: StandardinformPubs. 6 p.
2. GOST R 15.301–2016. 2018. System of product development and launching into manufacture. Products of industrial and technical designation. Procedure of product development and launching into manufacture. Moscow: StandardinformPubs. 15 p.
3. GOST R 57700.26–2020. 2020. High-performance computing systems. Acceptance tests requirements. Moscow: StandardinformPubs. 12 p.
4. GOST R 57700.18–2019. 2019. High-performance computing systems. Requirements for acceptance test programs. Moscow: StandardinformPubs. 8 p.
5. GOST R 57700.27–2020. 2018. High-performance computing systems. Terms and definitions. Moscow: StandardinformPubs. 20 p.
6. HPL information [Electronic resource]. URL: <http://icl.cs.utk.edu>.
7. Stream information [Electronic resource]. URL: http://reality.sgi.com/employees/mccalpin_asd.
8. IOR information [Electronic resource]. URL: <https://github.com/VI4IO/io-500-dev>.
9. b_eff information [Electronic resource]. URL: www.hlr.de/mpl/b_eff.
10. HPCG information [Electronic resource]. URL: www.hpcg-benchmark.org.
11. NPB information [Electronic resource]. URL: <http://www.nas.nasa.gov/Software/NPB>.
12. Alekseev A.V., Belyaev S.P., Bochkov A.I. et al. Methodological application tests developed at RFNC-VNIIEF for numerically studying parameters of HPC systems // VANT. Ser.: Mathematical simulation of physical processes. 2020. No 2. P. 86–100.

Alekseev A. V. Candidate of Physicomathematical Sciences. Federal state unitary enterprise «Russian federal nuclear centre – All-russian research institute of experimental physics» (FSUE «RFNC-VNIIEF»), 37 Mira Ave, Sarov, N. Novgorod region, 607188, Russia. E-mail: AVAlekseev@vniief.ru.

Chernov A. V. Federal state unitary enterprise «Russian federal nuclear centre – All-russian research institute of experimental physics» (FSUE «RFNC-VNIIEF»), 37 Mira Ave, Sarov, N. Novgorod region, 607188, Russia. E-mail: AIVChernov@vniief.ru.

Subareva K. A. Federal state unitary enterprise «Russian federal nuclear centre – All-russian research institute of experimental physics» (FSUE «RFNC-VNIIEF»), 37 Mira Ave, Sarov, N. Novgorod region, 607188, Russia. E-mail: kasubareva@vniief.ru.

Holostov A. A. Federal state unitary enterprise «Russian federal nuclear centre – All-russian research institute of experimental physics» (FSUE «RFNC-VNIIEF»), 37 Mira Ave, Sarov, N. Novgorod region, 607188, Russia. E-mail: AAHolostov@vniief.ru.

Sviridov V. A. Federal state unitary enterprise «Russian federal nuclear centre – All-russian research institute of experimental physics» (FSUE «RFNC-VNIIEF»), 37 Mira Ave, Sarov, N. Novgorod region, 607188, Russia. E-mail: VASviridov@vniief.ru