

УДК 519.6

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ РАБОТЫ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ю. Г. Бартнев, Г. Г. Близнюк, Ю. В. Логвин, Ю. В. Шатохина
(РФЯЦ-ВНИИЭФ)

Широкое применение многопроцессорных вычислительных систем настоятельно требует использования единых интегральных показателей для оценки качества их работы. Под качеством работы многопроцессорных вычислительных систем понимается не просто набор показателей функциональной способности оборудования, а в первую очередь эффективность использования этих систем при выполнении *параллельных* задач.

Предлагается методика расчета интегральных показателей для оценки качества работы многопроцессорных вычислительных систем, а также единая форма представления этих показателей, которая позволяет предприятиям, использующим вычислительные системы разного масштаба, сравнивать между собой эффективность их эксплуатации.

Ключевые слова: работоспособность многопроцессорных вычислительных систем, эффективность использования многопроцессорных вычислительных систем, показатели счета задач на многопроцессорных вычислительных системах.

Введение

Технология непрерывных высокопроизводительных вычислений требует поддержания высокой надежности как аппаратуры многопроцессорной вычислительной системы (МВС), так и используемого программного обеспечения (ПО).

Отсутствие согласованных критериев и метрик для определения основных параметров надежности и эффективности работы МВС затрудняет понимание вычислительных систем и усложняет их сравнительный анализ. Потребность в унификации терминологии и нормализации эксплуатационных параметров МВС актуальна не только для России, но и для зарубежных вычислительных центров (ВЦ) и центров обработки данных.

Исследования по определению интегральных показателей комплексов ЭВМ проводились в РФЯЦ-ВНИИЭФ с начала эксплуатации ЭВМ коллективного пользования, т. е. с 60—70-х годов прошлого века. Результатом этих исследований стало создание программного комплекса обработки статистической информации "Протокол" для вычислительных комплексов ЭВМ БЭСМ-6, ЕС ЭВМ, "Эльбрус", СВС, "Эльбрус-

КБ", способного определять полезное время счета на этих ЭВМ с учетом простоев, недозагруженности, потерь на обмен с внешней памятью и сбоев/отказов ЭВМ [1]. Нельзя не упомянуть исследования и разработки в том же направлении, проведенные другими организациями, например, [2].

С появлением современных МВС кластерного типа были найдены способы получения ряда интегральных показателей, влияющих на определение полезного времени, например, таких как простой вычислительной системы, загруженность задачами, затраты на взаимодействие и ввод/вывод процессов *параллельных* задач. Затруднение вызывали интегральная оценка потерь полезного времени из-за ненадежной работы вычислительных систем и определение критериев сравнения МВС. Использувавшиеся показатели, такие как *наработка на сбой и отказ*, не позволяли объективно сопоставлять МВС разного масштаба.

Полезным оказалось рассмотрение подходов к оценке интегральных показателей работы МВС в ведущих зарубежных ВЦ. Так, в Сандийских национальных лабораториях (SNL) США для оценки надежности, доступности и ремонтности

годности суперкомпьютеров применяется метод расчета показателей RAS (Reliability, Availability and Serviceability) [3].

Использование отечественного и зарубежного опыта позволило определить ряд апробированных в РФЯЦ-ВНИИЭФ интегральных показателей работы неоднородного комплекса вычислительных систем, предлагаемых в настоящей статье, которые в отличие от RAS:

- а) более точно учитывают потери полезного времени, связанные с взаимодействием процессоров, обменами с внешней памятью, сбоями отдельных устройств МВС в ходе *параллельных вычислений*;
- б) отражают характер использования вычислительной системы через *средний размер* параллельных задач (см. ниже);
- в) обобщаются на случай разнородного комплекса вычислительных систем ВЦ.

Данные интегральные показатели позволяют оценить не только работоспособность МВС в реальных условиях эксплуатации, но и эффективность их использования параллельными задачами, а также проследить тенденции в изменении параметров, выявить причины этих изменений и определить возможные пути их улучшения.

Единая форма представления интегральных показателей работы вычислительных систем для предприятий, эксплуатирующих МВС, позволит проводить сравнение эффективности их эксплуатации.

Показатели работы отдельной МВС

Обычно парк МВС организации включает в себя разнородные системы с различными характеристиками. Современные вычислительные системы состоят из многопроцессорных серверов (узлов); в свою очередь, каждый узел состоит из процессоров, а процессоры — из ядер¹. Основными характеристиками подобных систем являются количество вычислительных узлов/ядер, пиковая производительность одного ядра (процессора) и общая пиковая производительность системы, выраженная в терафлопсах².

¹ Не ограничивая общности, в данной статье для простоты процессор отождествляется с ядром.

² Терафлопс — единица измерения производительности компьютера (или в данном случае МВС), соответствующая выполнению 10^{12} операций с плавающей запятой в секунду: 1 терафлопс = 1 трлн оп./с = 1 000 млрд. оп./с.

Под пиковой производительностью одного процессора понимается предельное значение производительности процессора при выполнении операций над вещественными 64-разрядными числами. Общая пиковая производительность вычислительной системы определяется как суммарная пиковая производительность всех процессоров вычислительных узлов при выполнении операций над вещественными 64-разрядными числами.

Отметим, что процессоры вычислительных узлов в каждый момент времени находятся в определенном состоянии.

Введем меру, с помощью которой будем выражать показатели работы вычислительной системы. В качестве такой меры предлагается *процессор-час* (процессор · ч), что означает нахождение одного процессора в некоем состоянии в течение одного астрономического часа. Таким образом, нахождение в некоем состоянии в течение n часов некоторого подмножества из p процессоров системы измеряется np процессор-часами.

Определим следующие состояния процессора, входящего в состав вычислительной системы:

- не функционирует из-за нерабочего состояния *системы жизнеобеспечения* (СЖО) МВС;
- закрыт для счета задач по причине подозрения в сбое/отказе или с целью исследований;
- находится на профилактике;
- ремонтируется;
- простаивает (не используется никакой задачей);
- дал сбой при счете какой-либо задачи;
- бесбойно участвует в счете какой-либо задачи.

По времени нахождения каждого процессора вычислительной системы в указанных выше состояниях за определенный период времени подсчитываются *первичные* показатели работы МВС, на основании которых вычисляются *основные* показатели работы МВС.

В качестве одного из первичных показателей вводится *календарное время* $T_{\text{кал}}$, которое равно числу процессоров МВС, умноженному на астрономическое время наблюдения. Календарное время работы вычислительной системы можно разбить на производственное время (время, затраченное на счет задач) и потерянное время (время нерабочего состояния и/или недозагруженности вычислительной системы) (рисунки).

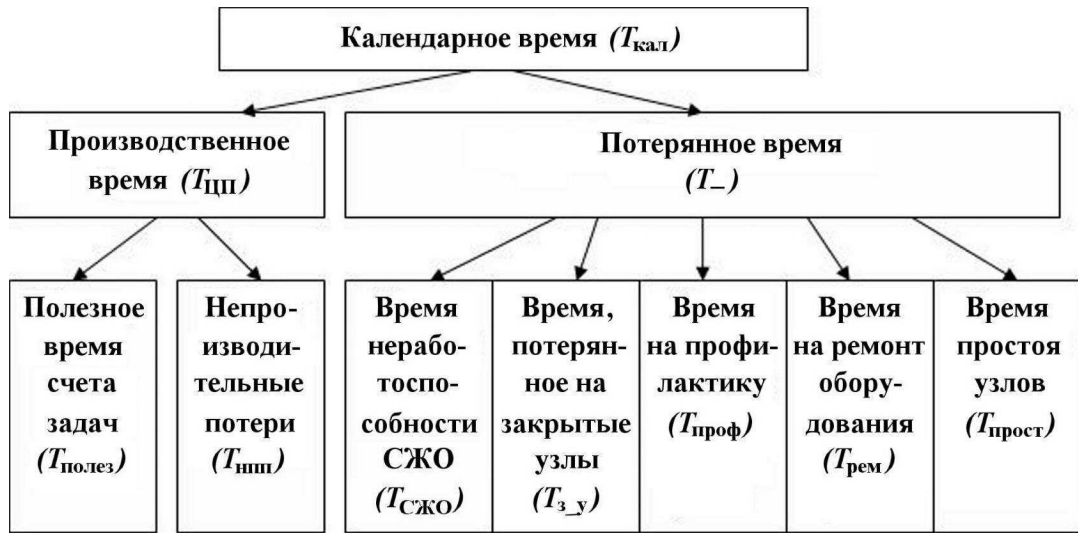


Схема представления календарного времени работы вычислительной системы

Потерянное время T_- подразделяется на время потерь за счет:

- нерабочего состояния СЖО (систем электропитания, охлаждения, пожаротушения и т. д.);
- закрытых вычислительных узлов (выведенных из вычислительного поля на длительный срок);
- проведения профилактических работ;
- ремонта оборудования после сбоев/отказов;
- простоя узлов (свободных от счета задач).

Производственное время $T_{ЦП}$, затраченное на счет задач, можно разделить на полезное время счета задач $T_{полез}$ и непроизводительные потери времени $T_{нпп}$. Таким образом,

$$T_{полез} = T_{ЦП} - T_{нпп}. \quad (1)$$

Методика оценки непроизводительных потерь времени будет описана ниже.

Основными показателями работы вычислительных систем за определенный интервал времени являются коэффициенты работоспособности и загруженности МВС, а также коэффициенты потерь по какой-либо причине.

Коэффициент работоспособности $K_{раб}$ показывает, какая доля вычислительной системы находится в работоспособном состоянии (готовности к выполнению задач):

$$K_{раб} = \frac{T_{кал} - T_{СЖО} - T_{з_у} - T_{проф} - T_{рем}}{T_{кал}}, \quad (2)$$

где $T_{СЖО}$, $T_{з_у}$, $T_{проф}$, $T_{рем}$ — суммарные времена потерь по соответствующим причинам (см. рисунок).

Коэффициент загруженности $K_{загр}$ показывает, насколько вычислительная система загружена счетом задач:

$$K_{загр} = \frac{T_{ЦП}}{T_{кал}}, \quad (3)$$

где $T_{ЦП}$ — суммарное время центрального процессора (ЦП), затраченное на счет задач за интервал времени наблюдения.

Уровень потерь времени ЦП определяется с помощью коэффициентов потерь по следующим причинам:

- нерабочее состояние СЖО:

$$K_{СЖО} = \frac{T_{СЖО}}{T_{кал}}; \quad (4)$$

- закрытые узлы:

$$K_{з_у} = \frac{T_{з_у}}{T_{кал}}; \quad (5)$$

- профилактика:

$$K_{проф} = \frac{T_{проф}}{T_{кал}}; \quad (6)$$

- ремонт оборудования:

$$K_{рем} = \frac{T_{рем}}{T_{кал}}; \quad (7)$$

– простои узлов:

$$K_{\text{прост}} = K_{\text{раб}} - K_{\text{загр}}. \quad (8)$$

Всюду в (2)–(8) $T_{\text{кал}}$, $T_{\text{ЦП}}$, $T_{\text{СЖО}}$, $T_{\text{з-у}}$, $T_{\text{проф}}$, $T_{\text{рем}}$ измеряются в процессор-часах.

Исходя из формул (2)–(8) видно следующее соотношение коэффициентов для каждой вычислительной системы:

$$K_{\text{загр}} + K_{\text{СЖО}} + K_{\text{з-у}} + K_{\text{проф}} + K_{\text{рем}} + K_{\text{прост}} = 1.$$

Для анализа эффективности загрузки МВС определяются коэффициенты вычислительной загрузки и накладных расходов.

Коэффициент вычислительной загрузки — доля времени ЦП на выполнение арифметических операций (точнее, берется все время за вычетом накладных расходов). Коэффициент вычислительной загрузки косвенно характеризует эффективность счета параллельного приложения на множестве процессоров.

Коэффициент накладных расходов (на распараллеливание) — доля времени ЦП, израсходованного на ожидание завершения MPI-операций, синхронизацию потоков и операции ввода/вывода.

Эти коэффициенты определяются по данным, полученным с помощью системы Statistics Tool Kit (STK) [4], предназначенной для сбора информации об использовании вычислительных ресурсов МВС параллельными приложениями.

Система STK позволяет проводить сбор следующей информации по каждому MPI-процессу считающейся задачи:

- время ЦП выполнения арифметических операций — полезное счетное время;
- время выполнения MPI-операций;
- время выполнения операций ввода/вывода.

Используя интегральные данные STK по всем считавшимся задачам за период наблюдения, можно разбить коэффициент загрузки $K_{\text{загр}}$ (3) вычислительной системы на коэффициент вычислительной загрузки $K_{\text{выч-загр}}$ и коэффициент накладных расходов $K_{\text{накл.расх}}$:

$$K_{\text{загр}} = K_{\text{выч-загр}} + K_{\text{накл.расх}}. \quad (9)$$

Следующими важными показателями работы вычислительной системы являются время ЦП за период и средний размер (в смысле потребления процессорного времени) считающихся задач.

Обычно время ЦП выражается в процессор-часах. Однако для разных вычислительных систем производительность одного процессора разная. Поэтому для единообразия предлагается ввести понятие *загруженности вычислительной системы*, показывающей ее фактическую производительность, затраченную на счет задач, выраженную в терафлопсах.

Загруженность вычислительной системы за период наблюдений определяется по формуле

$$K_{\text{загр.тфл}} = \frac{T_{\text{ЦП}} PR}{T_{\text{кал}}},$$

где $T_{\text{ЦП}}$ — время ЦП вычислительной системы в процессор-часах; PR — пиковая производительность вычислительной системы в терафлопсах; $T_{\text{кал}}$ — рассматриваемый период времени в процессор-часах.

Для рассматриваемого интервала времени можно построить спектр, или распределение, использованного задачами времени ЦП, выраженного в виде долей производительности системы, *потребленных* задачами, в зависимости от числа использованных процессоров. Это распределение будет разным для разных МВС в разные периоды времени наблюдений, так как оно может меняться в соответствии с существующей политикой загрузки вычислительной системы.

Данное распределение подобно распределению дискретной случайной величины. Среднее значение этого распределения является аналогом математического ожидания случайной величины [5].

Таким образом, *средний размер задач* $K_{\text{ср}}$ за рассматриваемый интервал времени определяется по формуле

$$K_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n X_i P_i, \quad (10)$$

где X_i — количество процессоров, используемых i -й задачей; P_i — доля производительности системы, потребленная i -й задачей за рассматриваемый период времени; n — количество задач за рассматриваемый период времени.

Сбор данных по счету задач в ВЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ производится системой "Статистика НВК" [6], позволяющей автоматически обрабатывать системные логи, которые формируются системами управления заданиями, такими как PBS [7], SLURM [8], JAM [9], и записывать в базу данных информацию по каждому запуску за-

дачи на счет. Система "Статистика НВК" позволяет проводить анализ загрузки вычислительной системы по широкому спектру показателей: времени ЦП, методикам, использованному задачам числу процессоров и т. д.

Методика оценки непроизводительных потерь времени

Во время счета задач могут происходить сбои/отказы отдельных компонентов вычислительной системы. Под сбоями/отказами компонента понимается любая неисправность, приводящая к его неспособности выполнять свою функцию. Сбои/отказы могут быть аппаратными или из-за системного ПО. Для восстановления функциональной способности компонента требуется ремонт, замена или ручная перезагрузка оборудования и/или ПО.

Основные компоненты МВС следующие:

- вычислительные узлы;
- файловые серверы NFS;
- серверы *параллельной* файловой системы (ПФС);
- инструментальные серверы;
- средства коммуникационной среды;
- системное ПО (операционная система, система управления заданиями [10] и т. д.).

Сбой/отказ любых компонентов вычислительной системы может повлиять на счет задач. То есть задача может закончить счет с аварийным кодом завершения либо приостановить счет и ждать, когда восстановится функциональная способность используемого компонента. Таким образом, нужно проводить оценку времени, потерянного задачами из-за сбоев/отказов компонентов МВС, — непроизводительные потери времени $T_{\text{нпп}}$.

Сбои/отказы различных компонентов МВС могут приводить к разным последствиям для счета задач.

Сбой одного вычислительного узла приведет к останову одной задачи, считающейся на этом узле. То есть задача потеряет время счета, которое прошло от последней записи контрольной точки задачи.

Таким образом, чтобы оценить время счета $T_{\text{нпп}}$, потерянное задачей из-за сбоя, нужно среднее время между записями контрольных точек в задачах $T_{\text{зап}}$ умножить на некоторый коэффициент K , учитывающий число процессоров, на ко-

торых выполнялась задача, и означающий степень потерь для счета задач в зависимости от вида сбоя: $T_{\text{нпп}} = T_{\text{зап}} K$.

Оптимальное среднее время между записями контрольных точек в задачах при проведении расчетов на разных вычислительных системах может быть различным. На практике оно выбирается в зависимости от средней наработки на сбой компонентов вычислительной системы, числа компонентов, используемых задачами, времени формирования контрольной точки [11]. Для современных МВС среднее время между записями контрольных точек обычно составляет 1,5 часа (при времени записи контрольной точки от минуты до нескольких минут — много меньше 1,5 часа).

Критерии выбора K , необходимого для подсчета непроизводительных потерь времени из-за сбоев/отказов различных компонентов вычислительной системы, в зависимости от степени влияния каждого типа сбоя/отказа на счет задач отражены в табл. 1. В определенных случаях в качестве K выбирается средний размер задач $K_{\text{ср}}$, вычисляемый по формуле (10). Использование $K_{\text{ср}}$ позволяет учесть потерянное время счета из-за единичного сбоя/отказа, влияющего на одну задачу. Потерянное время счета из-за сбоя/отказа, влияющего не только на одну задачу, учитывается с более высоким коэффициентом, что также отражено в табл. 1.

Общие непроизводительные потери времени для задач, считавшихся на вычислительной системе, за определенный интервал времени вычисляются по формуле

$$T_{\text{нпп}} = \sum_{i=1}^{10} (N_i T_{\text{нпп}_i} N_{\text{проц}}),$$

где N_i — число сбоев/отказов i -го компонента вычислительной системы; $T_{\text{нпп}_i}$ — непроизводительные потери времени из-за сбоев/отказов i -го компонента; $N_{\text{проц}}$ — общее количество процессоров вычислительной системы; верхний предел суммирования, равный 10, — количество видов сбоев/отказов в рассматриваемой классификации (см. табл. 1).

Коэффициент непроизводительных потерь вычислительной системы выражается в виде доли от времени ЦП:

$$K_{\text{нпп}} = \frac{T_{\text{нпп}}}{T_{\text{ЦП}}}.$$

Критерии для расчета непроизводительных потерь времени

Номер сбоя/отказа	Вид сбоя/отказа	Количество сбоев	Формула для коэффициента K	Непроизводительные потери	Примечания
1	Отказ вычислительного узла	N_1	$K = 1/N_{\text{узл}}$	$N_1 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	Для вычислительной системы с последовательным счетом задач. $N_{\text{узл}}$ — число узлов вычислительной системы
2	То же	N_2	$K = K_{\text{ср}}$	$N_2 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	Для вычислительной системы с параллельным счетом задач. $K_{\text{ср}}$ — средний размер задач
3	Отказ файлового сервера NFS	N_3	$K = 1/(N_{\text{NFS}} + N_{\text{ПФС}})$	$N_3 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	N_{NFS} — количество NFS
4	Отказ ПФС	N_4	$K = 1/N_{\text{ПФС}}$	$N_4 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	$N_{\text{ПФС}}$ — количество ПФС
5	Отказ инструментального сервера	N_5	$K = K_{\text{ср}}$	$N_5 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	Ремонт инструментального сервера менее 2 часов
6	То же	N_6	$K = 1$	$N_6 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	Ремонт инструментального сервера более 2 часов
7	Отказ коммуникационной среды	N_7	$K = K_{\text{ср}}$	$N_7 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	Отказ коммуникационной среды на узле
8	То же	N_8	$K = 1$	$N_8 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	Отказ коммуникационной фабрики в целом
9	Отказ системы управления заданиями	N_9	$K = K_{\text{ср}}$	$N_9 T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	Время восстановления менее 2 часов
10	То же	N_{10}	$K = 1$	$N_{10} T_{\text{зап}} K N_{\text{проц}}$	Время восстановления более 2 часов
Итого				$\sum_{i=1}^{10} (N_i T_{\text{нпп}i} N_{\text{проц}})$	

Здесь следует отметить, что аварийный останов задачи далеко не всегда связан со сбоем вычислительной системы и сбой/отказ компонентов вычислительной системы не всегда точно диагностируется. Тогда данная методика не обеспечивает точного подсчета потерь времени счета из-за сбоев/отказов вычислительной системы, а лишь позволяет косвенно оценить эти потери. Потери времени счета (непроизводительные потери) интегрально оцениваются по сбоям/отказам, зарегистрированным системой мониторинга МВС или зафиксированным службой сопровождения, и соотносятся со средним размером задач в интервале наблюдения в предположении, что произошедший сбой привел к останову какой-то задачи. Сбой вычислительной системы, будучи не привязанным к конкретной задаче, позволяет оценивать потери времени счета в разные периоды в зависимости от среднего размера задач, считавшихся в эти периоды. При одинаковом среднем размере задач в разные

периоды показатель $K_{\text{нпп}}$ позволяет сравнивать *ненадежность* вычислительной системы.

Для оценки надежности эксплуатации МВС предлагается ввести *коэффициент эксплуатационной надежности* вычислительной системы

$$K_{\text{эп}} = 1 - K_{\text{нпп}}. \quad (11)$$

Этот коэффициент отражает надежность эксплуатации без учета того факта, что часть оборудования вычислительной системы по каким-то причинам (как правило, из-за ремонта в результате отказа) была выведена из эксплуатации, и характеризует надежность функционирования наиболее устойчивого (к сбоям) подмножества компонентов вычислительной системы.

Показатели работы парка вычислительных систем

Так как парк вычислительных систем ВЦ состоит из разнородных МВС, то показатели рабо-

ты всего парка вычислительных систем рассчитываются по формуле

$$\text{Показатель} = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{Пок}_i PR_i)}{\sum_{i=1}^N PR_i},$$

где *Показатель* — соответствующий показатель (2)—(8) работы парка из *N* вычислительных систем; *Пок_i* — показатель работы *i*-й вычислительной системы; *PR_i* — производительность *i*-й вычислительной системы (в терафлопсах).

Загруженность парка вычислительных систем, выраженная в терафлопсах, определяется по формуле

$$K_{\text{загр.тфл}} = \sum_{i=1}^N K_{\text{загр.тфл}_i},$$

где *K_{загр.тфл_i}*

 — загруженность *i*-й вычислительной системы.

Интегральные показатели для оценки работы вычислительной системы

Основными интегральными показателями работы вычислительной системы являются:

- коэффициент работоспособности вычислительной системы *K_{раб}* (2);
- коэффициент загруженности *K_{загр}* (3);
- коэффициент вычислительной загруженности *K_{выч_загр}*, а также коэффициент накладных расходов *K_{накл.расх}* (см. (9));
- коэффициент эксплуатационной надежности *K_{эн}* (11).

В табл. 2—4 приводятся результаты проведенного по описанной методике расчета интегральных показателей оценки работы реальных МВС 1 и МВС 2 с различной производительностью за некоторый период времени, а также среднего размера задач, считавшихся на МВС 1, МВС 2.

Выводы

Приведенная методика расчета основных интегральных показателей работы МВС позволяет оценить работоспособность вычислительной системы, ее загруженность, потери машинного времени из-за сбоев/отказов, профилактик и простоев оборудования. Также можно сделать оценку непроизводительных потерь времени задача-

Таблица 2

Показатели функционирования вычислительных систем (в %)

Вычислительная система	Работоспособность (<i>K_{раб}</i>)	Загруженность			Общая доля	Потери					Непроизводительные потери (<i>K_{нпп}</i>)	Эксплуатационная надежность (<i>K_{эн}</i>)
		<i>K_{загр}</i>	<i>K_{выч_загр}</i>	<i>K_{накл.расх}</i>		<i>K_{СЖО}</i>	<i>K_{з_у}</i>	<i>K_{проф}</i>	<i>K_{рем}</i>	<i>K_{прост}</i>		
МВС 1	98,66	79,97	54,89	25,09	20,03	0,0	0,08	0,36	0,89	18,69	0,7	99,3
МВС 2	96,02	77,57	50,20	27,37	22,43	0,0	0,17	2,49	1,32	18,45	1,4	98,6
Парк (МВС 1, МВС 2)	98,02	79,39	53,75	25,64	20,61	0,0	0,10	0,88	1,0	18,63	0,87	99,13

Таблица 3

Распределение вычислительных ресурсов МВС 1 между задачами, выполнявшимися на различном числе процессоров

Вычислительный ресурс	Доля используемых процессоров								
	до 1/128	от 1/128 до 1/64	от 1/64 до 1/32	от 1/32 до 1/16	от 1/16 до 1/8	от 1/8 до 1/4	от 1/4 до 1/2	от 1/2 до 3/4	от 3/4 до 1
Потребленная задачами производительность, %	9,1	3,97	7,97	8,6	40,74	16,77	0,01	7,84	5,0
Средний размер задач ³	0,168								

³ Средний размер задач здесь и в табл. 4 считался по формуле (10).

Распределение вычислительных ресурсов МВС 2 между задачами, выполнявшимися на различном числе процессоров

Вычислительный ресурс	Доля используемых процессоров								
	до 1/128	от 1/128 до 1/64	от 1/64 до 1/32	от 1/32 до 1/16	от 1/16 до 1/8	от 1/8 до 1/4	от 1/4 до 1/2	от 1/2 до 3/4	от 3/4 до 1
Потребленная задачами производительность, %	12,0	22,4	33,2	20,9	2,5	4,1	4,9	0,0	0,0
Средний размер задач	0,05								

ми из-за сбоев/отказов различных компонентов вычислительной системы и рассчитать коэффициент эксплуатационной надежности, характеризующий надежность работы наиболее устойчивого к сбоям подмножества компонентов вычислительной системы.

Предлагаемая методика расчета интегральных показателей оценки работы МВС внедрена в вычислительном центре РФЯЦ-ВНИИЭФ и реализована в системе "Статистика НВК", рассчитывающей все описанные показатели.

Список литературы

1. Волгин В. Ф., Самойлова Е. М., Санталов С. П. и др. Программное обеспечение системы обработки информации о проведении расчетов на неоднородном комплексе ЭВМ // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Методики и программы численного решения задач математической физики. 1985. Вып. 3. С. 76—79.
2. Еремин Ю. И., Москалев О. В. Анализ непроизводительных потерь времени как инструмент управления вычислительным центром // Повышение эффективности использования ЭВМ большой производительности. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982.
3. Stearley J. Defining and Measuring Supercomputer Reliability, Availability and Serviceability (RAS). Sandia National Laboratories, 2005. DE-AC04-94AL85000. <http://www.cs.sandia.gov>.
4. Новаев В. А., Бартенев Ю. Г., Варгин А. М. и др. Инструментальные средства исследования эффективности параллельных приложений — STK // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2007. Вып. 11. С. 92—99.
5. Кочетков П. А. Краткий курс теории вероятности и математической статистики. М.: МГИУ, 1999.
6. Близнюк Г. Г., Пажин Д. Г., ШUTOва Н. А. Средства информационной системы "Статистика НВК" для проведения анализа работы ЭВМ НВК//X // Межд. семинар по супервычислениям и математическому моделированию. Саров, 29 сентября — 3 октября 2008 г.
7. Torque batch system. <http://www.clusterresources.org/torque>.
8. SLURM. <http://www.llnl.gov/linux/slurm>.
9. Киселев А. Б., Киселев С. Н. Система пакетной обработки заданий JAM // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2009. Вып. 4. С. 60—66.
10. Киселев А. Б., Бартенев Ю. Г., Варгин А. М. и др. Единая система управления заданиями на ЭВМ неоднородного вычислительного комплекса // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2008. Вып. 1. С. 60—66.
11. Schroeder B., Gibson G. A. Understanding failures in petascale computers // J. Physics: Conference Series 78 (2007). <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summury?doi=10.1.1.69.2659>.

Статья поступила в редакцию 30.04.10.