

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СТРАНЫ

УДК 681.324.006.3

МЕТОДИКА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В МОБИЛЬНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

А.Г. Басыров, А.Н. Шульгин
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

А.В. Малинка
(в/ч 07378)

Предложен способ сокращения расхода энергоресурса автономных источников питания в мобильных вычислительных системах путём использования возможностей существующих энергосберегающих технологий в ходе управления вычислительными процессами, имеющими случайный характер.

Ключевые слова: энергосберегающие параллельные вычислительные процессы, диспетчер, мобильная вычислительная система.

Увеличение объёмов обрабатываемой информации и, как следствие, повышение требований к производительности средств вычислительной техники (СВТ) влечёт за собой развитие технологий параллельных вычислений. Однако вследствие стремительного повышения уровня параллелизма соответственно увеличивается энергоёмкость функционирования параллельных вычислительных систем (ПВС). В связи с этим задача снижения энергоёмкости функционирования СВТ, особенно мобильных, в настоящее время весьма актуальна.

Существующие технологии энергосбережения, используемые в современных мобильных СВТ, предоставляют возможности гибкого управления энергопотреблением как системой в целом, так и отдельными её компонентами. Возможности системы ACPI (Advanced Configuration and Power Interface), реализующей управление энергопотреблением вычислительных модулей (ВМ) (процессоров, «ядер»), являющихся наиболее энергоёмкими компонентами ПВС, через множество состояний пониженного энергопотребления (C-состояний) [1] в периоды вынужденных простоев ВМ при выполнении параллельного алгоритма, представлены на рис. 1.

Предлагаемый подход предполагает использование методики диспетчирования энергосберегающих параллельных вычислительных процессов (ПВП), дополняющих алгоритм реализации плана ПВП диспетчером и позволяющих более эффективно управлять энергопотреблением ПВС, посредством использования множественных энерговременных характеристик энергосберегающих состояний технологии ACPI.

Пусть:

1. План вычислительного процесса $|\Psi|_{M, N}$, где M – количество ВМ в ПВС; N – количество заданий.
2. Алгоритм целевой задачи в форме матрицы смежности заданий $||H||_{N, N}$, определяющей отноше-

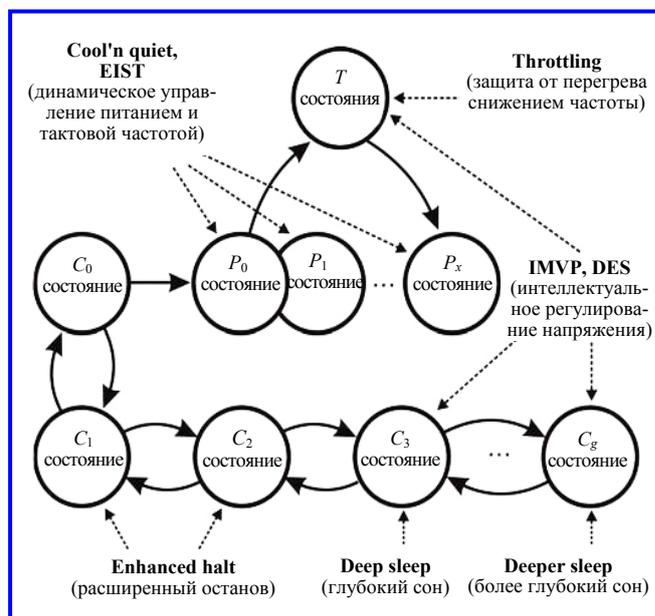


Рис. 1. Группы состояний процессора (ядра) и поддерживающие их технологии

ния частичного порядка между заданиями.

3. Однородная вычислительная система $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – множество ВМ, входящих в вычислительную систему.

4. Множество энергосберегающих состояний каждого ВМ $C_{<g>} = \{C_1, C_2, \dots, C_g\}$.

5. Для каждого энергосберегающего состояния C_k ($k = 1, 2, \dots, g$) известны:

- P_k – потребляемая мощность;
- ξ_k^0 – временные затраты на переход ВМ в энергосберегающее состояние;
- ξ_k^1 – временные затраты на переход ВМ из энергосберегающего состояния в активное состояние.

6. Время d , затрачиваемое диспетчером на решение задачи перевода в энергосберегающее состояние.

7. Начальные моменты $\alpha(\hat{\tau}_1), \alpha(\hat{\tau}_2), \dots, \alpha(\hat{\tau}_N)$

распределения времени окончания выполнения каждого задания в соответствии с планом $|\Psi|_{M,N}$.

Требуется найти:

Энергосберегающее состояние C^*_q ВМ, обеспечивающее его минимальное энергопотребление при q -м простое ВМ, и момент времени δ начала перевода ВМ в активное состояние.

На рис. 2 представлен фрагмент временной диаграммы выполнения параллельного алгоритма.

Предлагаемая методика реализует подход к решению выше сформулированной задачи энергосбережения посредством совокупности нескольких алгоритмов.

На первом этапе решения задачи в процесс реализации ПВП выполняется алгоритм определения параметров распределения законов распределения $F_j(t), j = 1, \dots, N$, времени завершения выполнения каждого задания $\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2, \dots, \hat{\tau}_N$, являющегося предше-

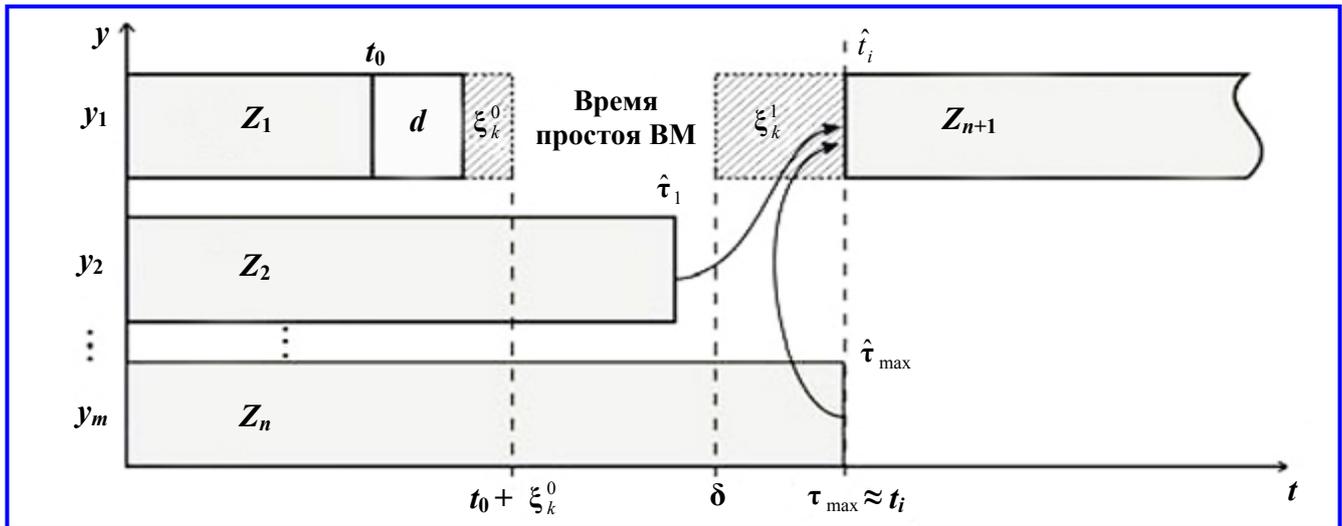


Рис. 2. Фрагмент временной диаграммы выполнения параллельного алгоритма

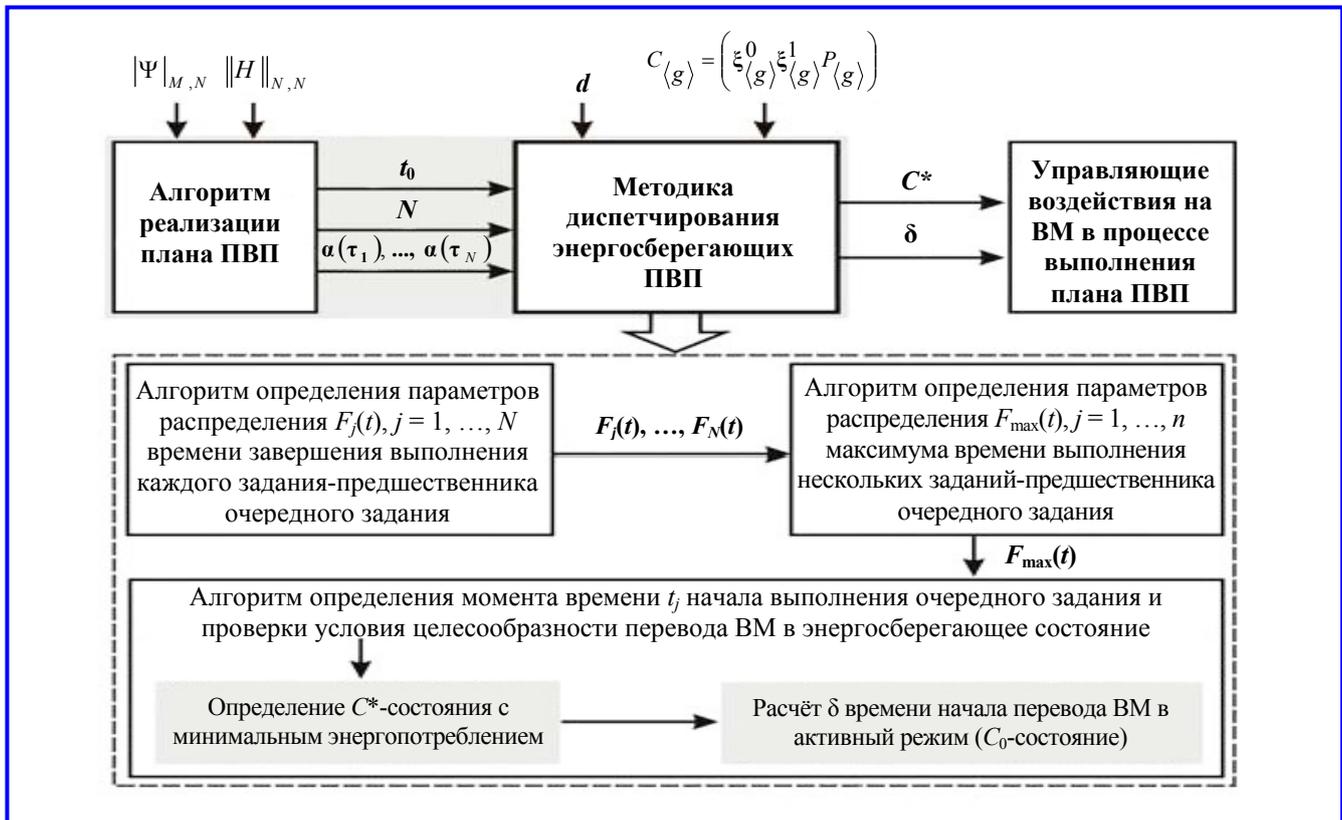


Рис. 3. Методика диспетчирования энергосберегающих ПВП

ственным очередного задания, по начальным моментам $\alpha_q(\hat{\tau}_j)$. Расчёт параметров реализован с использованием метода моментов, изложенного в [2, 3].

На втором этапе, используя результаты аппроксимации $F_1(t), \dots, F_N(t)$, к некоторому теоретическому закону распределения выполняется алгоритм определения параметров распределения

$$F_{\max}(t) = \prod_{j=1}^N F_j(t)$$

максимума времени выполнения

нескольких заданий-предшественников очередного задания. Аппроксимация $F_{\max}(t)$ основана на использовании метода квантилей порядка 0,24 и 0,93, изложенного в [4].

На завершающем этапе реализуется алгоритм определения момента времени t_i начала выполнения очередного задания и проверки условия целесообразности перевода ВМ в энергосберегающее состояние в период простоя ВМ. Момент времени t_i определяется как $t_i = F_{\max}^{-1}(\rho)$, где ρ – вероятность того, что время начала выполнения очередного задания не превысит t_i . Проверка условия целесообразности перевода ВМ в одно из C -состояний основана на сопоставлении времени простоя ВМ и длительности переходных процессов между активным режимом и C -состояниями. При положительном решении по критерию минимальности потребляемой мощности определяется оптимальное энергосберегающее C^* -состояние, а также время начала перевода ВМ в

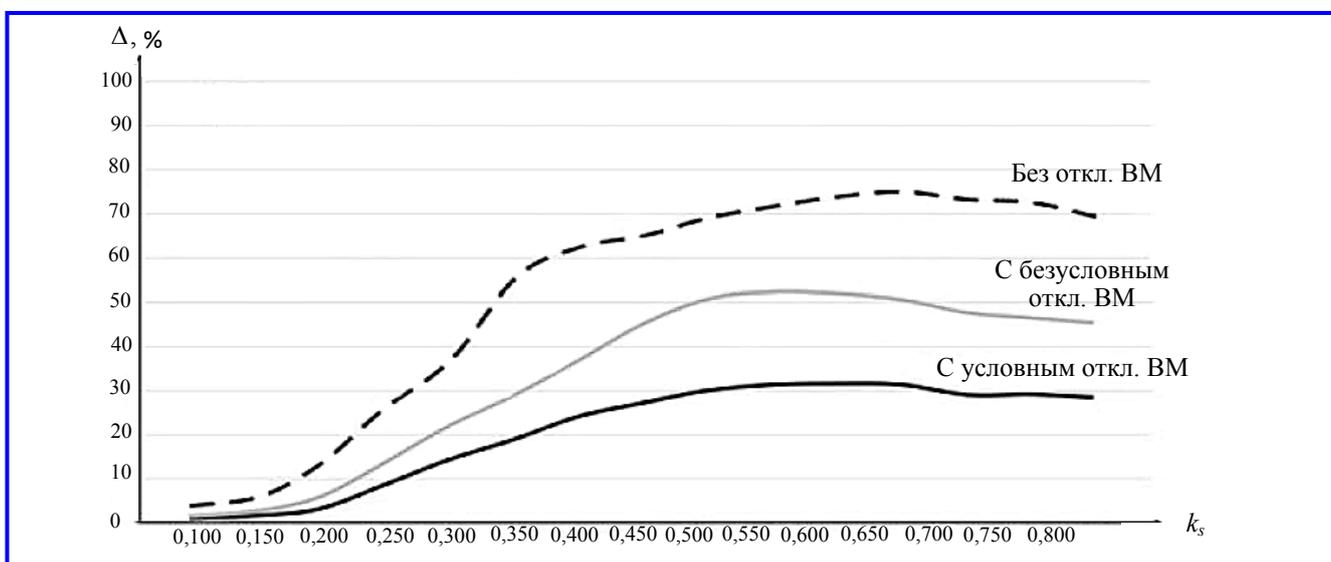


Рис. 4. Зависимости средних значений относительных потерь Δ энергоресурса от коэффициента связности k_s графа алгоритма, целевой задачи для пятидесяти задач и трёх ВМ

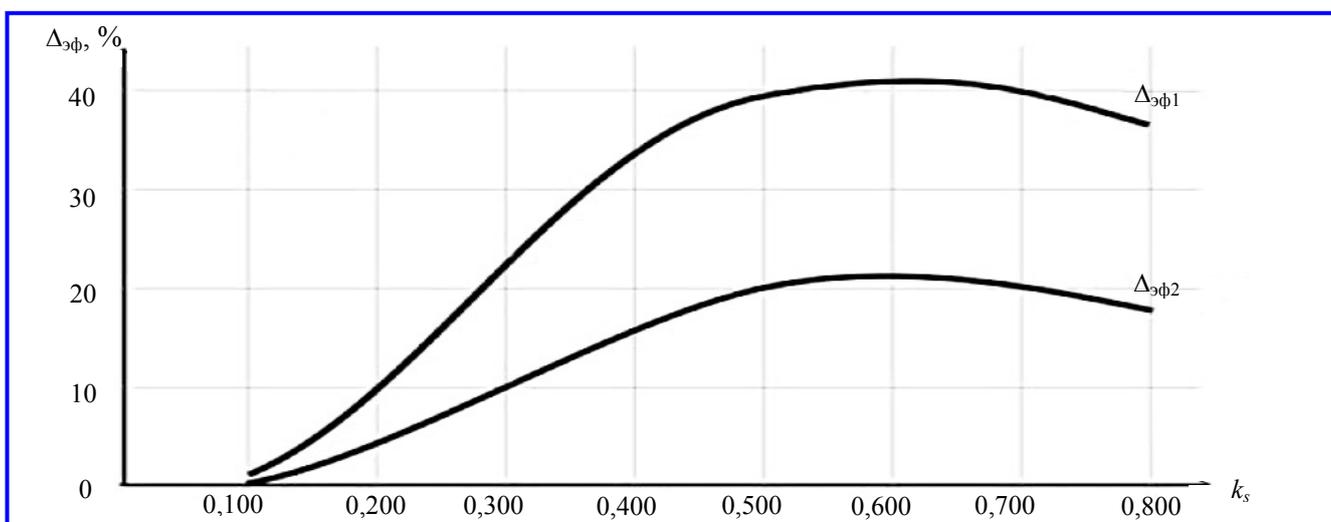


Рис. 5. Показатели энергоэффективности методики диспетчирования энергосберегающих ПВП с условным отключением для пятидесяти задач и трёх ВМ: $\Delta_{эф1}$ – по отношению к работе ВМ без отключения; $\Delta_{эф2}$ – по отношению к методу с безусловным отключением ВМ

активный режим работы (C_0 -состояние).

Рис. 3 иллюстрирует содержание выше изложенной методики.

Результаты имитационного моделирования процесса диспетчирования энергосберегающих ПВП показали, что применение методики диспетчирования энергосберегающих ПВП с условным переводом ВМ в пассивный режим работы даёт большее энергосбережение выполнения ПВП по сравнению с другими подходами к реализации энергосберегающих ПВП (без отключения ВМ и с безусловным отключением). Испытания имитационной модели показали, что при увеличении количества задач, реализуемых в ПВС, эффективность энергосбережения с применением данной методики увеличивается. В качестве оцениваемого показателя была выбрана относительная доля времени простоя ВМ, определяемая из соотношения [5]:

$$\Delta = \left(\frac{T_p}{T_3} - 1 \right) 100\% ,$$

где T_p – общее время работы всех ВМ вычислительной системы; T_3 – общее время выполнения всех заданий.

На рис. 4 показаны зависимости средних значений показателей Δ при различных вариантах функционирования ВМ во время вынужденных простоев.

Для оценки эффективности вышеизложенной методики были определены показатели энергоэффективности, представленные на рис. 5:

$$\Delta_{эф1} = \Delta_{БП} - \Delta_{УП} \text{ и } \Delta_{эф2} = \Delta_{БУП} - \Delta_{УП} ,$$

где $\Delta_{БП}$ – относительные потери энергоресурса при реализации ПВП без отключения ВМ; $\Delta_{БУП}$ – относительные потери энергоресурса при реализации

ПВП с безусловным отключением ВМ; $\Delta_{УП}$ – относительные потери энергоресурса при реализации ПВП с условным отключением ВМ.

При значениях коэффициента связности графа целевой задачи 0,3 – 0,8 снижение энергоёмкости работы ВМ при вынужденных простоях составляет 23 – 42 % по сравнению с функционированием ВМ без отключения и 10 – 22 % по сравнению с методом безусловного отключения ВМ.

Таким образом, предложенный подход может быть применён при организации энергосберегающих вычислительных процессов как в многопроцессорных системах, так и при использовании многоядерных процессоров. Кроме того, идея методики может быть с успехом использована и в многомашинных комплексах, где энергосберегающие состояния можно рассматривать на более высоком уровне.

Литература

1. Advanced Configuration and Power Interface Specification / Hewlett-Packard; Intel; Microsoft; Phoenix; Toshiba. – 2006. – Р. 531.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М. : Высшая школа, 2004. – 478 с.
3. Рыжиков Ю. И. Машинные методы расчёта систем массового обслуживания / Ю. И. Рыжиков. – Л. : ВИКИ, 1979. – 136 с.
4. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р. Н. Вадзинский. – СПб. : Наука, 2001. – 158 с.
5. Басыров А. Г. Диспетчер энергосберегающего параллельного вычислительного процесса / А. Г. Басыров, А. В. Данеев, А. Б. Мاستин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2010. – № 3 (27). – С. 157 – 162.

Поступила в редакцию 11.01.2012

Александр Геннадьевич Басыров, д-р техн. наук, доцент, полковник, начальник кафедры вычислительных средств и сетей ВКА им. А.Ф. Можайского, e-mail: alexanderbas@mail.ru.

Альберт Николаевич Шульгин, подполковник, адъюнкт заочной формы обучения ВКА им. А.Ф. Можайского, научный сотрудник войсковой части 85487, e-mail: shulgin_albert@mail.ru.

Анатолий Владимирович Малинка, подполковник, канд. военных наук, начальник лаборатории войсковой части 07378, т. (818) 345-44-93, e-mail: crimson-friend@rambler.ru.