

Раздел VI. Вычислительные комплексы нового поколения и нейροкомпьютеры

УДК 004.272.43

А.Э. Саак

УРОВНЕВЫЕ АЛГОРИТМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ МАССИВАМИ ЗАЯВОК КРУГОВОГО ТИПА В GRID-СИСТЕМАХ*

Дается дальнейшее развитие формального аппарата управления распределением вычислительно-временных ресурсов, т.е. среды ресурсных прямоугольников, как основы теории полиномиальной диспетчеризации. Ранее автором в среде ресурсных прямоугольников введены операции сложения, умножения, дифференцирования и динамического интегрирования ресурсных прямоугольников. Предложены и исследованы эвристические алгоритмы распределения ресурсов, имеющие полиномиальную трудоёмкость, основанные на введённых операциях над ресурсными прямоугольниками. Рассматриваются вычислительные задачи с заранее известным временем решения, в которых число требуемых процессоров определяет пользователь при подаче в систему. Предложена и разработана квадратичная классификация множества заявок, моделируемых ресурсными прямоугольниками. Полиномиальные алгоритмы адаптированы под соответствующий квадратичный тип массива заявок. Целью работы является введение новых операций в среде ресурсных прямоугольников, разработка на их основе новых полиномиальных алгоритмов, имеющих лучшее качество диспетчерования, измеряемое неэвклидовой эвристической мерой, учитывающей наряду с площадью и форму занятую ресурсной области. Определяются операции динамического интегрирования ресурсных прямоугольников с превышением и минимальным отклонением. На основе этих операций разрабатываются уровневый с избытком и волновой уровневый алгоритмы, адаптированные под массивы заявок кругового типа. На модельных примерах множества ресурсных квадратов, со сторонами, равными последовательным натуральным числам, начиная с единицы, проводится диспетчерование и вычисляются эвристические меры ресурсных оболочек полиномиальных уровневых алгоритмов. Сравнительный анализ показывает преимущество предлагаемых полиномиальных алгоритмов и позволяет рекомендовать к использованию в Grid-системах с централизованной структурой при обслуживании массивов заявок кругового типа.

Операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали с превышением; операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали с минимальным отклонением; Grid-система; централизованная структура системы диспетчерования; мульти-сайтный режим обслуживания; неэвклидова эвристическая мера; массив заявок кругового типа; алгоритм полиномиальной трудоёмкости; уровневый с избытком алгоритм; волновой уровневый алгоритм.

A.E. Saak

LEVEL ALGORITHMS OF SCHEDULING BY CIRCLE TYPE TASK SETS IN GRID SYSTEMS

In the paper it is considered the further development of formal instruments for distribution management of computer and time resources of resource rectangles environment, as the base of the polynomial scheduling theory. In the previous works the author has introduced the operations

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-11-00242) в Южном федеральном университете.

of addition, multiplication, differentiation and dynamic integration of resource rectangles in the resource rectangles environment. Heuristic algorithms of polynomial complexity for resource distribution were suggested and studied. They have in their base the introduced operations above resource rectangles. The computer tasks with certain time of solution, in which the number of processors involved is defined by a user on the initial stage, are considered in the paper. It is suggested and developed a quadratic classification of a set of tasks simulated by resource rectangles. The polynomial algorithms were adapted under the appropriate quadratic type of tasks' array. The purpose of the paper is new operations introduction in the resource rectangles environment, the development on their base new polynomial algorithms, which supposed to have better quality of scheduling measured by the non- Euclidean heuristic measure which takes into account both the square and the shape of the occupied area. In the paper there are defined operations of dynamic integration of the resource rectangles with an excess and minimal deviation. On the base of this operations there are developed a level algorithm with an excess and a wave level algorithm, adapted for the circular typed user tasks. On the simulation examples of a set of resource squares with the sides equal to successive natural numbers which begin with one we conduct scheduling and calculate the resource environments heuristic measures of the polynomial level algorithms. The comparative analysis shows an advantage of suggested polynomial algorithms and allows to recommend them to use in Grid systems with centralized structure when serving circle-typed task arrays.

The operation of resource rectangles dynamic integration on vertical with an excess; the operation of resource rectangles dynamic integration on vertical with minimal deviation; a Grid system; the centralized structure of scheduling system; a multi-site service mode; the non- Euclidean heuristic measure; a circle-typed tasks array; an algorithm of polynomial complexity; the level algorithm with an excess; the wave level algorithm.

Постановка задачи. В [1–5] разработан формальный аппарат управления распределением вычислительно-временных ресурсов, т.е. среда ресурсных прямоугольников, как основа теории полиномиальной диспетчеризации. В среде ресурсных прямоугольников введены операции сложения, умножения, дифференцирования и динамического интегрирования ресурсных прямоугольников. В [1–5] предложены и исследованы эвристические алгоритмы распределения ресурсов, имеющие полиномиальную трудоёмкость, основанные на введённых операциях над ресурсными прямоугольниками. В этих же работах предложена и разработана квадратичная классификация множества заявок, моделируемых ресурсными прямоугольниками. Рассматриваемые в [1–5] полиномиальные алгоритмы адаптированы под соответствующий квадратичный тип массива заявок.

Ставится вопрос о расширении операций в среде ресурсных прямоугольников, разработке на их основе модификаций полиномиального уровневого алгоритма распределения массивов заявок кругового типа, а также оценке качества диспетчерования предложенных эвристических алгоритмов.

Уровневые алгоритмы обслуживания в Grid-системе. Grid-системы с централизованной структурой системы диспетчерования [6–11], состоящие из сайтов, содержащих параллельные системы, функционирующие в режиме мульти-сайтного диспетчерования [6], моделируются ресурсным квадрантом [5, 12].

В настоящей работе рассматриваются вычислительные задачи [10, 13–15] с заранее известным временем решения [17], в которых число требуемых процессоров определяет пользователь при подаче в систему [16].

При представлении заявки пользователя для обслуживания диспетчером Grid-системы ресурсным прямоугольником горизонтальное и вертикальное измерения соответственно принимаются равными числу единиц ресурса времени и процессоров, требуемому для обработки [18]. Символом $[a(j), b(j)]$ обозначается j -я заявка, требующая $a(j)$ единиц времени и $b(j)$ единиц процессоров.

Качество диспетчирования эвристических алгоритмов оценивается неевклидовой эвристической мерой, учитывающей наряду с площадью и форму занятую ресурсной области.

В [5] определена операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали, состоящая в наилучшем приближении заданного уровня с недостатком. Определим следующие операции.

Операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали с превышением состоит в наилучшем приближении уровня H с избытком

$$\sum_{j'=1}^{j_0} b(j') = H + 0 \text{ посредством вертикальной суперпозиции граней } \bigcup_{j=1}^{j_0} [a(j), b(j)]$$

(рис. 1).

Операция динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали с минимальным отклонением состоит в наилучшем приближении

$$\sum_{j'=1}^{j_0} b(j') = H \pm 0 \text{ уровня } H \text{ с избытком (рис.1) или недостатком (рис. 2) [5] посред-}$$

ством вертикальной суперпозиции граней $\bigcup_{j=1}^{j_0} [a(j), b(j)]$.

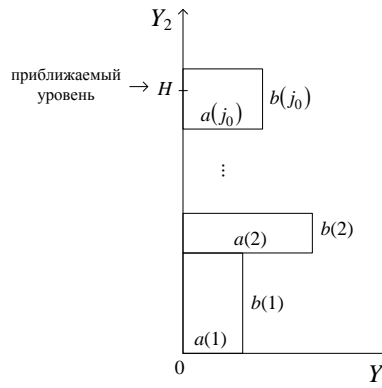


Рис. 1. Вертикальная суперпозиция граней с превышением

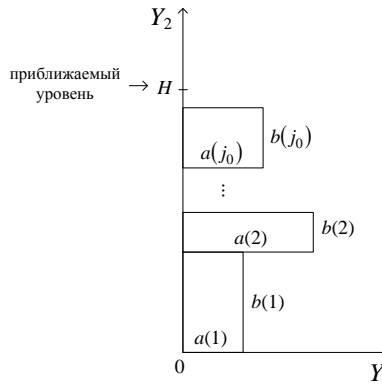


Рис. 2. Вертикальная суперпозиция граней с недостатком [5]

Предлагаемые далее уровневый алгоритм с превышением и волновой уровневый алгоритм являются вариантами уровневого алгоритма с недостатком [4], также адаптированными под круговой тип массива заявок.

Уровень H , как и в [4], принимаем равным $H = \sqrt{\sum_{j=0}^{k-1} a(j)b(j)}$. Уровневый алгоритм с превышением основан на операции динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали с превышением. Функционирование алгоритма аналогично приведённому в [4], с тем отличием, что на каждом шаге ресурсные прямоугольники вертикально суперпозируются до наилучшего приближения уровня с избытком (рис. 3).

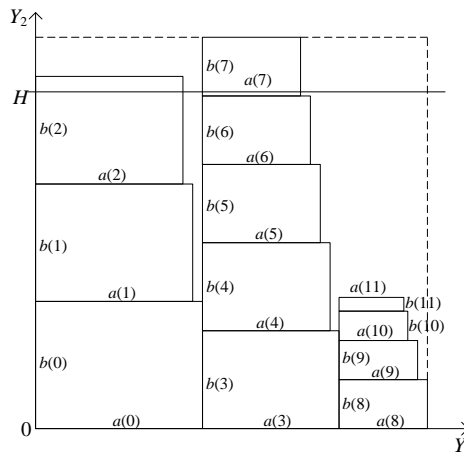


Рис. 3. Укладка уровневым алгоритмом с превышением массива заявок кругового типа

Волновой уровневый алгоритм основан на операции динамического интегрирования ресурсных прямоугольников по вертикали с минимальным отклонением. Функционирование алгоритма аналогично приведённому в [4], с тем отличием, что на каждом шаге ресурсные прямоугольники вертикально суперпозируются до наилучшего приближения уровня с минимальным отклонением (рис. 4).

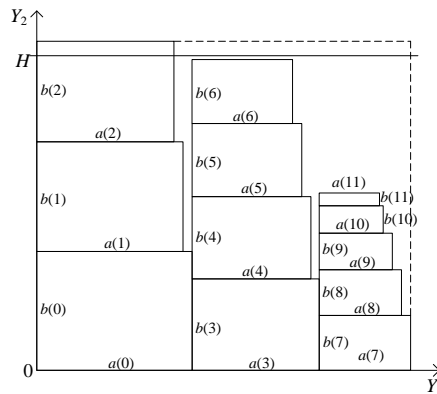


Рис. 4. Укладка волновым уровневым алгоритмом массива заявок кругового типа

Отметим, что укладка уровневый алгоритмом с недостатком массива заявок кругового типа, используемого для иллюстраций на рис. 3, 4, изображена на рис. 5.

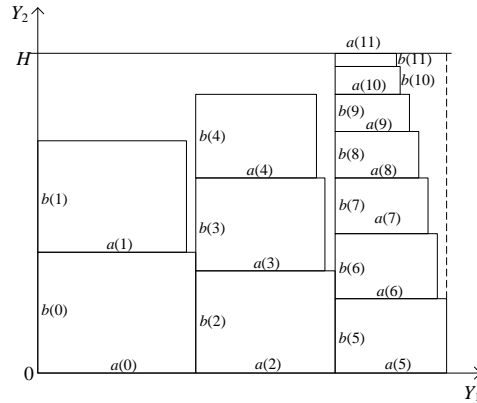


Рис. 5. Укладка уровневый алгоритмом с недостатком массива заявок кругового типа

Исследование уровня алгоритма (с недостатком) проведено в [4, 5], далее рассматриваются уровневый алгоритм с превышением, волновой уровневый алгоритм и проводится сравнительный анализ уровневых алгоритмов.

Диспетчеризация уровневый алгоритмами. Массивов заявок кругового типа. Вычислим эвристические меры ресурсных оболочек, получаемых при диспетчеризации массивов ресурсных квадратов полиномиальными алгоритмами: уровнем с превышением, волновым уровнем.

Для массива ресурсных квадратов $(k - j) \times (k - j)$, $j = 0, 1, \dots, k - 1$ при $k = 32$ [19, 20] соответствующие построения уровнем алгоритмом приведены на рис. 6 [4]. В центре квадрата указана величина его стороны. Эвристические меры ресурсных оболочек уровня алгоритма для массива ресурсных квадратов вычислены в [5].

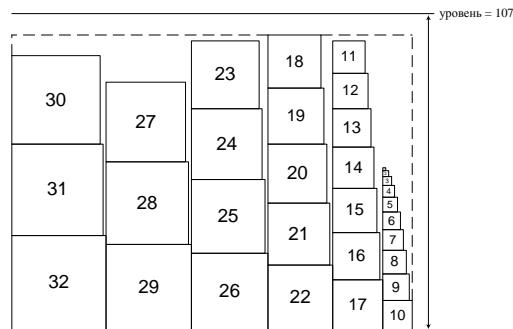


Рис. 6. Укладка уровнем алгоритмом массива ресурсных квадратов

Для массива ресурсных квадратов $(k - j) \times (k - j)$, $j = 0, 1, \dots, k - 1$ при $k = 32$ соответствующие построения уровня алгоритма с превышением приведены на рис. 7.

Эвристические меры ресурсных оболочек уровня с превышением алгоритма для массива ресурсных квадратов приведены в табл. 1.

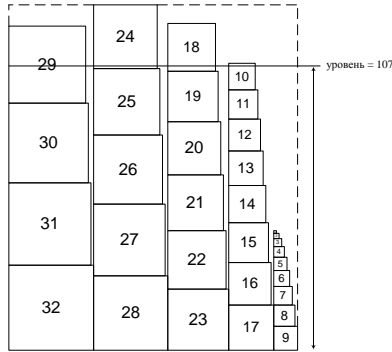


Рис. 7. Укладка уровневый с превышением алгоритмом массива ресурсных квадратов

Таблица 1

Эвристические меры ресурсных оболочек уровневого с превышением алгоритма

k	Эвристическая мера	k	Эвристическая мера	k	Эвристическая мера
18	0,63	23	0,60	28	0,66
19	0,64	24	0,69	29	0,64
20	0,63	25	0,68	30	0,64
21	0,62	26	0,67	31	0,63
22	0,61	27	0,67	32	0,64

Видим, что эвристические меры ресурсных оболочек уровневого с превышением алгоритма не превосходят значения $\frac{1}{2} + 0,19$.

Для массива ресурсных квадратов $(k - j) \times (k - j)$, $j = 0, 1, \dots, k - 1$ при $k = 32$ соответствующие построения волновым уровневый алгоритмом приведены на рис. 8.

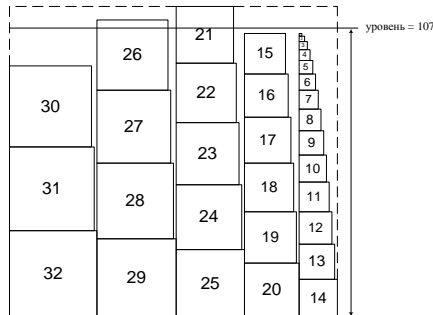


Рис. 8. Укладка волновым уровневый алгоритмом массива ресурсных квадратов

Эвристические меры ресурсных оболочек волнового уровневого алгоритма для массива ресурсных квадратов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Эвристические меры ресурсных оболочек волнового уровневого алгоритма

k	Эвристическая мера	k	Эвристическая мера	k	Эвристическая мера
18	0,63	23	0,6	28	0,61
19	0,62	24	0,62	29	0,62
20	0,61	25	0,62	30	0,61
21	0,65	26	0,62	31	0,61
22	0,61	27	0,61	32	0,6

Видим, что эвристические меры ресурсных оболочек волнового уровневого алгоритма не превосходят значения $\frac{1}{2} + 0,15$.

Графики эвристической меры ресурсных оболочек уровневого, уровневого с превышением и волнового уровневого алгоритмов диспетчеризации массива ресурсных квадратов показаны на рис. 9.



Рис. 9. Эвристические меры ресурсных оболочек полиномиальных уровневых алгоритмов диспетчеризации массивами ресурсных квадратов

Видим, что волновой уровневый алгоритм имеет меньшую эвристическую меру, начиная с $k = 22$ и до конца исследуемого интервала значений. Сравнение результатов эвристических мер ресурсных оболочек уровневого (с недостатком) и уровневого с превышением алгоритмов не позволяет отдать предпочтение какому-либо из них. Заметим, что при $k = 32$ предложенные в статье уровневый алгоритм с превышением и волновой уровневый алгоритм имеют меньшую эвристическую меру, чем известный ранее уровневый алгоритм. Проведенный анализ позволяет рекомендовать предложенные алгоритмы к использованию в Grid-системах с централизованной структурой системы диспетчирования и мультисайтным режимом обслуживания.

Заключение. В развитии среды ресурсных прямоугольников определяются операции динамического интегрирования ресурсных прямоугольников с превышением и минимальным отклонением. На основе этих операций разрабатываются уровневый с избытком и волновой уровневый алгоритмы, адаптированные под массивы заявок кругового типа. Результаты экспериментов показывают преимущество предлагаемых полиномиальных алгоритмов и позволяют рекомендовать уровневые алгоритмы к использованию в Grid-системах с централизованной структурой при обслуживании массивов заявок кругового типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саак А.Э. Локально-оптимальные ресурсные распределения // Информационные технологии. – 2011. – № 2. – С. 28-34.
2. Саак А.Э. Алгоритмы диспетчеризации в Grid-системах на основе квадратичной типизации массивов заявок // Информационные технологии. – 2011. – № 11. – С. 9-13.
3. Саак А.Э. Диспетчеризация в Grid-системах на основе однородной квадратичной типизации массивов заявок пользователей // Информационные технологии. – 2012. – № 4. – С. 32-36.
4. Саак А.Э. Сравнительный анализ полиномиальных алгоритмов диспетчеризации в Grid-системах // Информационные технологии. – 2012. – № 9. – С. 28-32.
5. Саак А.Э. Полиномиальные алгоритмы распределения ресурсов в Grid-системах на основе квадратичной типизации массивов заявок // Информационные технологии. – 2013. – № 7. Приложение. – 32 с.
6. Hamscher, V., Schwiegelshohn, U., Streit, A., Yahyapour, R. Evaluation of job-scheduling strategies for grid computing. In Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing, HiPC-2000, volume 1971 of Lecture Notes in Computer Science, pages 191–202, India, 2000. Springer.
7. Magoulès, F., Nguyen, T., Yu, L. Grid resource management: toward virtual and services compliant grid computing, Numerical analysis and scientific computing. CRC Press, UK, 2009.
8. Magoulès F. (ed.). Fundamentals of grid computing: theory, algorithms and technologies, Numerical analysis and scientific computing. CRC Press, UK, 2010.
9. Antonopoulos N., Exarchakos G., Li, M., Liotta, A. (eds.). Handbook of research on p2p and grid systems for service-oriented computing: models, methodologies and applications. IGI Global publisher, USA, 2010.
10. Rahman M., Ranjan R., Buyya, R., Benatallah B. A taxonomy and survey on autonomic management of applications in grid computing environments // Concurrency Computat.: Pract. Exper. – 2011. – No. 23. – P. 1990-2019.
11. Patel S. Survey Report of Job Scheduler on Grids // International Journal of Emerging Research in Management & Technology. – 2013. – Vol. 2, No. 4. – P. 115-125.
12. Саак А.Э. Управление ресурсами и заявками пользователей в Grid-системах с централизованной архитектурой // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16-19 июня 2014 г. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 7489-7498.
13. Foster I., Kesselman C. The Grid in a nutshell. In: Nabrzyski J., Schopf J., Weglarz J. (eds.) Grid Resource Management: state of the art and future trends. Kluwer, 2003.
14. Jacob B., Brown M., Fukui K., Trivedi N. (2005) Introduction to grid computing. IBM Corp., USA.
15. Christodouloupoloulos, K., Sourlas, V., Mpakolas, I., Varvarigos, E. A comparison of centralized and distributed meta-scheduling architectures for computation and communication tasks in Grid networks // Computer Communications. – 2009. – No. 32. – P. 1172-1184.
16. Feitelson, D., Rudolph, L. Toward convergence in job schedulers for parallel supercomputers. In Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, Feitelson D., Rudolph L. (eds.). – Springer-Verlag, 1996. Lecture Notes in Computer Science. – Vol. 1162. – P. 1-26.
17. Ye D., Zhang G. On-Line Scheduling of Parallel Jobs. In R. Královic and O. Sýkora, ed., SIROCCO 2004. – Vol. LNCS 3104. – P. 279-290.
18. Caramia M., Giordani S., Iovanella A. Grid scheduling by on-line rectangle packing // Networks. – 2004. – Vol. 44, No. 2. – P. 106-119.
19. Korf R., Moffitt M., Pollack, M. Optimal rectangle packing // Annals of Operations Research. – 2010. – Volume 179, Number 1. – P. 261-295.
20. Huang E., Korf R. Optimal rectangle packing: an absolute placement approach // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2012. – No. 46. – P. 47-87.

REFERENCES

1. Saak A.E. Lokal'no-optimal'nye resursnye raspredeleniya [Locally optimal resource allocation], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2011, No. 2. pp. 28-34.
2. Saak A.E. Algoritmy dispetcherizatsii v Grid-sistemakh na osnove kvadratichnoy tipizatsii massivov zayavok [The scheduling algorithms in Grid-based systems for quadratic typing, arrays applications], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2011, No. 11, pp. 9-13.

3. Saak A.E. Dispatcherizatsiya v Grid-sistemakh na osnove odnorodnoy kvadrachnoy tipizatsii massivov zayavok pol'zovateley [Scheduling in Grid systems based on homogeneous quadratic typing, arrays applications users], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 4, pp. 32-36.
4. Saak A.E. Sravnitel'nyy analiz polinomial'nykh algoritmov dispatcherizatsii v Grid-sistemakh [Comparative analysis of polynomial algorithms for scheduling in Grid systems], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2012, No. 9, pp. 28-32.
5. Saak A.E. Polinomial'nye algoritmy raspredeleniya resursov v Grid-sistemakh na osno-ve kvadrachnoy tipizatsii massivov zayavok [Polynomial algorithms for resource allocation in Grid-based systems for quadratic typing, arrays applications], *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2013, No. 7. Prilozhenie, 32 p.
6. Hamscher V., Schwiegelshohn U., Streit A., Yahyapour R. Evaluation of job-scheduling strategies for grid computing. In Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing, HiPC-2000, volume 1971 of Lecture Notes in Computer Science, India, 2000. Springer, pp. 191-202.
7. Magoulès F., Nguyen T., Yu L. Grid resource management: toward virtual and services compliant grid computing, Numerical analysis and scientific computing. CRC Press, UK, 2009.
8. Magoulès F. (ed.). Fundamentals of grid computing: theory, algorithms and technologies, Numerical analysis and scientific computing. CRC Press, UK, 2010.
9. Antonopoulos N., Exarchakos G., Li, M., Liotta, A. (eds.). Handbook of research on p2p and grid systems for service-oriented computing: models, methodologies and applications. IGI Global publisher, USA, 2010.
10. Rahman M., Ranjan R., Buyya, R., Benatallah B. A taxonomy and survey on autonomic management of applications in grid computing environments, *Concurrency Computat.: Pract. Exper.*, 2011, No. 23, pp. 1990-2019.
11. Patel S. Survey Report of Job Scheduler on Grids, *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, 2013, Vol. 2, No. 4, pp. 115-125.
12. Saak A.E. Upravlenie resursami i zayavkami pol'zovateley v Grid-sistemakh s tsentralizovannoy arkhitekturoy [The management of resources and applications users in Grid-systems with centralized architecture], *Trudy KhII Vserossiyskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU-2014. Moskva, 16-19 iyunya 2014 g.* [Proceedings of the XII all-Russian conference on control problems the EVERYTHING-2014. Moscow, 16-19 June 2014]. Moscow: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 7489-7498.
13. Foster I., Kesselman C. The Grid in a nutshell. In: Nabrzyski J., Schopf J., Weglarz J. (eds.) Grid Resource Management: state of the art and future trends. Kluwer, 2003.
14. Jacob B., Brown M., Fukui K., Trivedi N. (2005) Introduction to grid computing. IBM Corp., USA.
15. Christodoulopoulos, K., Sourlas, V., Mpakolas, I., Varvarigos, E. A comparison of centralized and distributed meta-scheduling architectures for computation and communication tasks in Grid networks, *Computer Communications*, 2009, No. 32, pp. 1172-1184.
16. Feitelson, D., Rudolph, L. Toward convergence in job schedulers for parallel supercomputers. In Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, Feitelson D., Rudolph L. (eds.). Springer-Verlag, 1996. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1162, pp. 1-26.
17. Ye D., Zhang G. On-Line Scheduling of Parallel Jobs. In R. Královič and O. Sýkora, ed., SIROCCO 2004. Vol. LNCS 3104, pp. 279-290.
18. Caramia M., Giordani S., Iovanella A. Grid scheduling by on-line rectangle packing, *Networks*, 2004, Vol. 44, No. 2, pp. 106-119.
19. Korf R., Moffitt M., Pollack, M. Optimal rectangle packing, *Annals of Operations Research*, 2010, Vol. 179, No. 1, pp. 261-295.
20. Huang E., Korf R. Optimal rectangle packing: an absolute placement approach, *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2012, No. 46, pp. 47-87.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Саак Андрей Эрнестович – Южный федеральный университет; e-mail: saak@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел., факс: 88634393373; кафедра государственного и муниципального управления; зав. кафедрой; д.т.н.; доцент.

Saak Andrey Ernestovich – Southern Federal University; e-mail: saak@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone, fax: +78634393373; the department of state and municipal administration; head of department, dr. of eng.sc.; associate professor.