

УДК 62 – 51

## МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА КРУПНОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Р.А. Учайкин, аспирант кафедры вычислительной техники  
Самарский государственный технический университет, Россия

**Аннотация.** Решение проектных, конструкторских и технологических задач машиностроительного производства требует широкого применения средств вычислительной техники. В статье рассматриваются модели, используемые при управлении распределением компьютеров с учетом процессов технического обслуживания и ремонта. Известные подходы к распределению компьютеров на предприятии не учитывают график производственных процессов и имеющиеся вычислительные ресурсы. В статье предложен комплекс, включающий системные модели: оптимизационную задачу дискретного программирования с булевыми переменными и имитационную модель на основе временных сетей Петри. Построена базовая элементарная временная сеть Петри и приведены графовые модели, отражающие процессы технического обслуживания и ремонта компьютеров.

**Ключевые слова:** системный анализ, техническое обслуживание компьютеров, дискретное программирование, имитационное моделирование, сети Петри.

**Введение.** В организационную структуру современного машиностроительного предприятия входят, помимо производственных цехов, проектные и конструкторские подразделения. Эти подразделения отвечают за создание образцов новой техники, их модернизацию, а также разработку технологических процессов. Для ускорения решения проектных и конструкторских задач широко используются мощные современные компьютеры.

Актуальной задачей является оптимизация распределения средств вычислительной техники (СВТ) и программного обеспечения на предприятии и их профилактического обслуживания, поскольку затраты на закупку и эксплуатацию их непрерывно растут [7, 11].

В работах [3, 9] для изучения влияния структуры связи на совместное использование ресурсов в «Системах систем» (SoSs) используются сложные сетевые модели. В статье [8] уделяется внимание только финансовой стороне вопроса обеспечения предприятия средствами вычислительной техники. Вопрос о распределении СВТ между подразделениями предприятия часто решается без учета графика производственных процессов. Отсутствует системный подход к вопросам о перераспределении высвобождающихся СВТ и использовании новых видов вычислительных ресурсов, таких как облачные технологии. Существует также высокая степень неопределенности при учете всех факторов, влияющих на эффективное использование средств ВТ [1, 2].

В статьях [4, 5] рассматриваются постановка и решение задачи дискретной оптимизации при распределении средств ВТ, а также комплекс системных моделей, в состав которых входят оптимизационная модель, имитационная дискретно-событийная модель и модель оценки эффективности функционирования на основе метода DEA.

В данной статье предлагается использовать оптимизационно-имитационный подход [6], в основе которого лежит совместный анализ оптимизационной и имитационной моделей функционирования сложной системы. Рассматривается сложная организационно-техническая система, включающая аппаратное и программное обеспечение в подразделениях машиностроительного предприятия, а также календарный график выполнения задач этих подразделений.

**Оптимизационно-имитационный подход.** Оптимизационная задача размещения вычислительных ресурсов согласно [5] имеет вид:

$$F = \min \left\{ \sum_{j=1}^J C(x_j) + C^E(x_j) \right\}, \quad x_j \in \{0,1\}, j = \overline{1,J}, \quad (1)$$

с ограничениями

$$\sum_j f_i(x_j) \leq 0, \quad j \in J_i, \quad i = \overline{1,K}, \quad (2)$$

где  $x_j$  - булева переменная оптимизации, задающая распределение  $D(x_j)$  компьютерного оборудования,  $J$  и  $J_i$  - индексные множества единиц компьютерного оборудования,  $C_j$  - стоимость вычислительных средств,  $C_j^E$  - стоимость эксплуатации компьютерного оборудования. Переменная  $x_j = 1$ , если компьютер назначен для выполнения некоторой задачи в определенном подразделении предприятия.

Сложность решения этой задачи связана с дискретным характером обработки данных, что приводит к необходимости использования алгоритмических ограничений. В частности, одно из ограничений в (2) запрещает назначение одной задачи нескольким подразделениям. Это ограничение записано в виде логического выражения. В соответствии с оптимизационно-имитационным подходом следует выделить в проблеме (1) – (2) только аналитические ограничения в форме математических выражений типа «неравенства». А остальные алгоритмические ограничения проверяются на имитационной модели.

Однако, при планировании распределения ресурсов на длительном периоде времени необходимо согласовать решение (1) – (2) с сетевым графиком выполнения задач подразделения. Формальное описание проекта  $P$  представляется следующим образом:

$$P = (Z_p, T_p, C_p),$$

где  $Z_p = \{z_1, \dots, z_{N_z}\}$  – проектные задачи;  $T_p = \{\tau_1, \dots, \tau_{N_z}\}$  – множество заданных сроков окончания задач и длительностей их выполнения;  $C_p = \{c_1, \dots, c_{N_z}\}$  – стоимости выполнения каждой задачи.

**Имитационная модель на основе временной сети Петри.** Выбор имитационной модели важен для адекватного описания процесса проектирования. Предполагается, что модель в виде сети Петри наиболее подходит для этой задачи:

$$N = (P, T, W, \omega, M_0),$$

где  $P$  – множество позиций,  $T$  – множество переходов,  $W$  – множество дуг между позициями и переходами (отношение инцидентности),  $\omega$  – весовая функция на дугах сети и  $M_0$  – начальная разметка сети.

Временная сеть Петри [10] есть кортеж:

$$N = (P, T, A, \omega, M_0, f)$$

где  $N = (P, T, W, \omega, M_0)$  – маркированная сеть Петри,  $f$  – функция времени срабатывания переходов, присваивающая каждому переходу неотрицательное число.

Достоинство временной сети Петри в том, что заключение о корректности моделируемого процесса может быть сделано по структуре сети без непосредственной имитации срабатывания переходов. Другое преимущество в том, что сеть Петри позволяет четко определить взаимодействие задач.

**Имитационная модель процессов технического обслуживания и ремонта компьютеров.** Пусть имеется шесть компьютеров  $u_1, \dots, u_6$ , которые назначаются для выполнения проекта из пяти задач  $z_1, \dots, z_5$ . Компьютер  $u_6$  находится в резерве. На рисунке 1 представлена графовая модель, отражающая график проекта и распределение компьютерного оборудования.

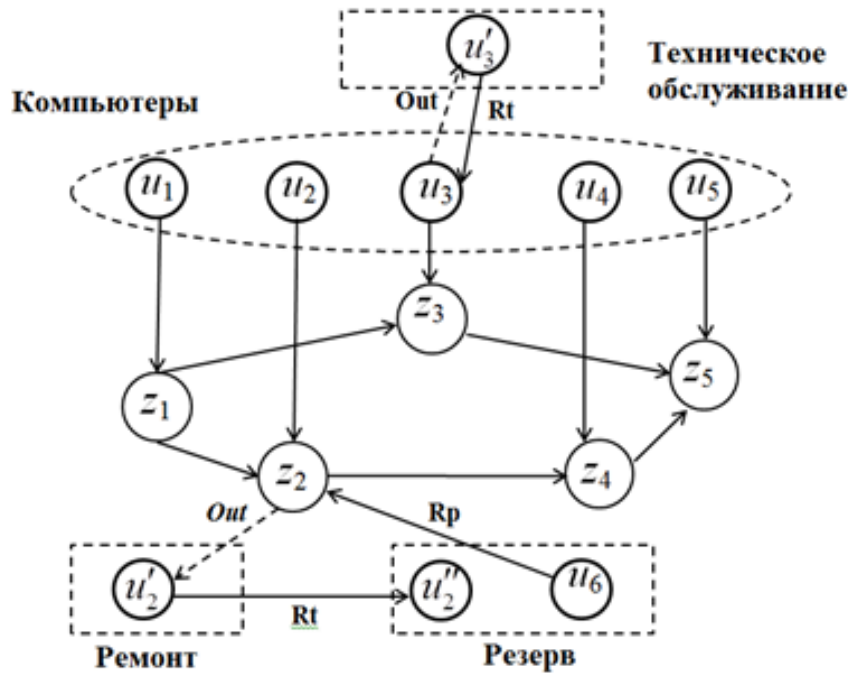


Рис. 1. Графовая модель распределения компьютерного оборудования с учетом ремонта и технического обслуживания

Следует отметить две критические ситуации.

1. Компьютер  $u_2$  выходит из строя, выводится из эксплуатации и передается в ремонт (дуга *Out*). Резервный компьютер  $u_6$  передается в подразделение для выполнения задачи  $z_2$  (дуга *Rp*). Компьютер  $u_2$  после ремонта переводится в резерв (дуга *Rt*).

2. Компьютер  $u_3$  выводится на техническое обслуживание согласно установленному регламенту профилактических работ (дуга *Out*). Для исключения срыва выполнения задачи  $z_3$  необходимо использовать другой компьютер. Однако в резерве свободных компьютеров в данный момент нет. Тогда для задачи  $z_3$  используется компьютер  $u_4$  (дуга *Rp*) при условии, что задача  $z_4$  еще не начиналась. Компьютер  $u_3$  возвращается из технического обслуживания и, соответственно, компьютер  $u_4$  возвращается для выполнения задачи  $z_4$ .

Такая схема распределения компьютерных ресурсов будет работать корректно при соблюдении определенных временных условий. Например, при увеличении времени обслуживания компьютера  $u_3$  задача  $z_4$  не получит в нужный момент ресурс компьютера  $u_4$ . Можно было бы использовать компьютер  $u_2$ , но задержка при его ремонте может помешать этому.

Приведенный пример показывает, что при сложном сетевом графике работ и большом числе компьютеров возникают конфликтные ситуации.

Потребуем выполнения следующих алгоритмических ограничений в графовой модели на рисунке 1.

1. Для любого компьютера  $u_k$  события «Отказ (Failure)» и «Обслуживание (Maintenance)» не происходят одновременно, т.е.  $\tau_k^F \neq \tau_k^M, \forall k$ .

2. Интервал времени технического обслуживания любого компьютера  $u_k$  не должен пересекаться с временным интервалом его ремонта

$$\{\tau_1^{Rp}, \tau_2^{Rp}\} \cap \{\tau_1^M, \tau_2^M\} = \emptyset.$$

Поставим в соответствие каждой задаче в графовой модели фрагмент временной сети Петри, который описывает вывод компьютера в ремонт или перевод на техническое обслуживание (рисунок 2).

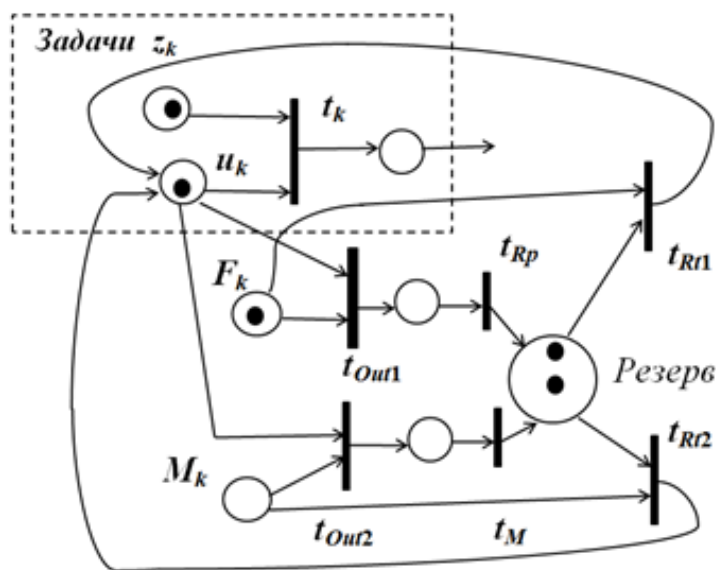


Рис. 2. Фрагмент сети Петри для графовой модели, приведенной на рисунке 1

После окончания этих операций компьютер помещается в позицию «Резерв». Из этой позиции компьютер может быть возвращен для выполнения такой задачи, для которой подходит его конфигурация. Совокупность фрагментов составляет полную сеть Петри для имитации процесса выполнения задач и ремонта и обслуживания компьютеров.

**Заключение.** Оптимизационно-имитационный подход при организации профилактического обслуживания и ремонта средств вычислительной техники на предприятии помогает эффективно использовать данную технику. Если на предприятии имеется резерв с нужным количеством компьютеров необходимых конфигураций, то это обеспечит экономию денежных средств на закупку новой техники.

Предлагаемую в данной работе имитационную модель процессов технического обслуживания и ремонта компьютерного оборудования можно дополнить, рассмотрев более подробно различные конфигурации компьютеров и используя модели на раскрашенных сетях Петри (CPN).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ауад, М. Оптимизационные задачи выбора и распределения ресурсов в информационных системах / М. Ауад, В.В. Борщ, А.В. Лазаренко и др. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2014. – № 1 – С. 43–46.
2. Громов, Ю.Ю. Определение параметров структуры информационной системы в условиях негативного влияния внешней среды / Ю.Ю. Громов, Ю.В. Минин, С.А. Копылов и др. // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – 2020. – С. 1734–1737.
3. Дидрих, В.Е. Задача распределения ресурсов в сетевой информационной системе / В.Е. Дидрих, И.В. Дидрих, Ю.Ю. Громов и др. // Вестник ТГТУ. – 2016. – Т. 22 – № 4 – С. 541–549.
4. Учайкин, Р.А. Автоматизированное управление использованием средств вычислительной техники на машиностроительном предприятии / Р.А. Учайкин, С.П. Орлов // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 12: в 3 ч. Ч. 2 / под общ. ред. А.А. Большакова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – С. 81–87.
5. Учайкин, Р.А. Задача распределения средств вычислительной техники на машиностроительном предприятии / Р.А. Учайкин, С.П. Орлов // Вестник Самарского гос. тех. ун-та. Серия: Технические науки. – 2019. – Вып. 4 (64) – С. 84–98.
6. Antonova, G.M. Modern Ability of Optimization-Simulation Approach / G.M. Antonova, A.D. Tsvirkun // IFAC Proceedings. – 2008. – Vol. 41 (2) – P. 15811–15816.
7. Karatanov, O. Integrated computer technologies in mechanical engineering / O. Karatanov, V. Chetverykova // AISC: Springer Nature Switzerland AG. – 2020. – Vol. 1113 – P. 114–125.
8. Mosleh, M. Distributed Resource Management in Systems of Systems: An Architecture Perspective / M. Mosleh, P. Ludlow // System Engineering. – 2016. – Vol. 19 (4) – P. 362–374.
9. Mosleh, M. Resource allocation through network architecture in systems of systems: A complex networks framework / M. Mosleh, P. Ludlow, B. Heydari // Proc. of the 2016 Annual IEEE Systems Conf. (SysCon) (Orlando, FL, USA), 2016.
10. Silva, J.R. Timed Petri Nets / J.R. Silva, del Foyo P.M.G. // Manufacturing and Computer Science / ed P. Pawlewski. IntechOpen, 2012. – Chapter 16. – P. 359–370.
11. Zhilyaev, A.A. The analysis of efficiency of application of the concept of CALS in life cycle of products of mechanical engineering / A.A. Zhilyaev, O.I. Islamova, M.M. Yakhutlov // Proc. Int. Conf. "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS). – 2019. – P. 326–328.

Материал поступил в редакцию 15.11.20

## MODELS OF MAINTENANCE ORGANIZATION AND REPAIR OF COMPUTER EQUIPMENT AT A LARGE MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

**R.A. Uchaykin**, Postgraduate at the Department of Computer Engineering  
Samara State Technical University, Russia

**Abstract.** *The solution of design, engineering and technological problems of machine-building production requires a wide application of computer technology. The article discusses the models used in managing the distribution of computers, taking into account the processes of maintenance and repair. Known approaches to the distribution of computers in the enterprise do not take into account the schedule of production processes and available computing resources. The article offers a complex that includes system models: an optimization problem of discrete programming with Boolean variables and a simulation model based on time Petri nets. A basic elementary time Petri net is constructed and graph models are presented that reflect the processes of computer maintenance and repair.*

**Keywords:** *system analysis, computer maintenance, discrete programming, simulation, Petri nets.*