

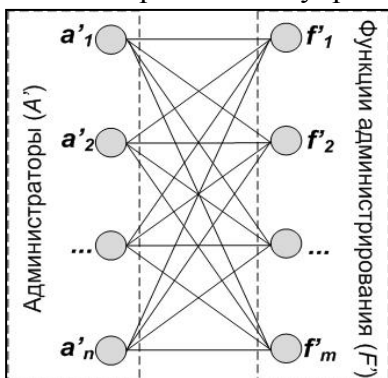
# АДАПТИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ КУНА-МАНКРЕСА В ЗАДАЧАХ АДМИНИСТРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДОЙ

Д.В.Мишин, М.М. Монахова, С.Д. Лучинкин

ВлГУ, Владимир, РФ, mariya.monakhova@gmail.com

Анализ современных научных исследований в области устойчивого функционирования распределенных информационных систем (в частности АСУ) позволяет говорить о том, что одной из составляющих обеспечения качества функционирования корпоративной АСУ является задача автоматизации восстановления ее информационно-вычислительной среды (КРИВС). Восстановление КРИВС производится, как правило, в рамках процессов административного управления, декомпозиция которых позволяет выделить множество  $F$  прецедентов (операций) – функций административного управления (ФА). Анализ системы административного управления КРИВС предприятия позволяет утверждать, что задача распределения ФА по исполнителям решается не эффективно. В работе предлагается метод назначения ФА исполнителям, основанный на адаптированном алгоритме решения задачи о назначениях Куна — Манкреса, известного также как Венгерский алгоритм.

Математически задачу оптимизации назначения функций административного управления по исполнителям представим в виде двудольного графа  $G'=(A',F';Y)$  (рис. 1), где  $A'=\{a'_1, a'_2, \dots, a'_n\}$ ,  $A' \subset A$  – подмножество доступных администраторов КРИВС,  $F'=\{f'_1, f'_2, \dots, f'_m\}$ ,  $F' \subset F$  – подмножество ФА, требующих решения в рамках текущего этапа цикла административного управления,  $Y=\{y_{ij}\}$  – множество ребер, связывающих вершины



множества  $A'$  с вершинами множества  $F'$ ,  $i = \overline{1, |A'|}$ ,  $j = \overline{1, |F'|}$ ,  $i > 0, j > 0$ .

Будем считать, что каждый администратор может выполнять любую ФА. Это соответствует тому, что каждая вершина  $a' \in A'$  связана со всеми вершинами  $f' \in F'$ , коэффициент инцидентности  $\beta^{a'}$  каждой вершины  $a' \in A'$  в таком случае будет равен мощности подмножества ФА САУ КРИВС,  $\beta^{a'} = |F'|$ . Аналогично, каждая ФА может быть выполнена любым из администраторов. Это соответствует тому, что каждая вершина  $f' \in F'$  связана со всеми  $a' \in A'$  и  $\beta^{f'} = |A'|$ . Таким образом, двудольный граф  $G'=(A',F';Y)$  является полным (Рис. 1),  $\forall a' \in A' \text{ и } f' \in F' \exists y_{ij} \in Y$ .

При решении задачи назначения ФА по исполнителям необходимо из множества возможных  $\beta = \sum_{j=1}^{|F'|} \beta_j^{f'}$  выбрать такое паросочетание  $(F'-A')$ , которое наилучшим образом удовлетворяет заданному интегральному критерию эффективности  $T$ .

Так как каждому ребру  $y_{ij} \in Y$  может быть поставлен некоторый показатель эффективности  $t^*_{ij}$ , задача назначения ФА по исполнителям может быть сведена к нахождению максимального паросочетания вершин множества  $F'$  с вершинами множества  $A'$  так, чтобы сумма показателей эффективности всех сочетаний являлась оптимальной (рис. 2). Сведем задачу назначения ФА по исполнителям к классической задаче о назначениях с аддитивным критерием эффективности.

Интегральным критерием эффективности  $T$  будем считать суммарное время выполнения ФА в рамках цикла административного управления. Таким образом, необходимо назначить администраторам множества  $A'$  функции административного управления множества  $F'$  таким образом, чтобы достичь минимального времени полного восстановления производительности КРИВС:

$$T = \sum_{i=1}^{|A'|} \sum_{j=1}^{|F'|} t^*_{ij} \rightarrow \min (1)$$

Примем в качестве значения показателя эффективности, определяющего вес каждого ребра  $u_{ij} \in Y$  графа  $G=(A', F'; Y)$ , прогнозируемое время выполнения  $t^*$  ФА  $f_j \in F'$  администратором  $a_i \in A'$ . Показатель  $t^*$  – сложная функция, рассчитываемая на основании индивидуальных профессиональных качеств администратора, параметров выполнения им той или иной ФА. В общем виде,

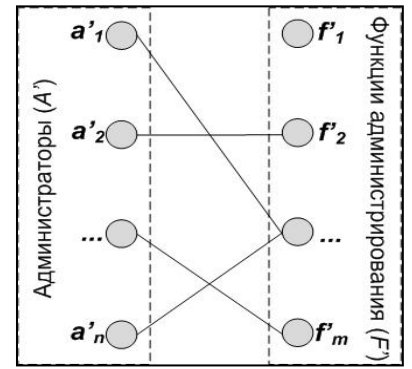


Рис.2 – оптимальное назначение

прогнозируемое время выполнения ФА зададим как:  $t^*_{ij} = f(\bar{t}_{ij}, K_{ij}, \Delta d_{ij})$  (2), где:  $\bar{t}_{ij}$  – среднее время выполнения  $f_j$  администратором  $a_i$ ;  $K_{ij}$  – показатель компетенции администратора  $a_i$  по выполнению  $f_j$ ;  $\Delta d_{ij}$  – интервал между моментом времени последнего выполнения  $f_j$  администратором  $a_i$  и моментом времени текущего назначения  $f_j$  на выполнение администратору  $a_i$ . Значение среднего времени  $\bar{t}_{ij}(n)$  на шаге  $n$  будем рассчитывать для каждой  $f_j$  по результатам ее выполнения администратором  $a_i$  по формуле  $\bar{t}_{ij}(n) = \frac{\bar{t}_{ij}(n-1) + t_{ij}(n)}{2}$ , где  $t_{ij}(n)$  время последнего выполнения  $f_j$  администратором  $a_i$ .

Компетенция администратора – интегральный показатель, отражающий уровень его знаний, умений и опыта. В простейшем случае, за значение показателя  $K$  компетенции примем вероятность выполнения администратором ФА за время, не превышающее нормативное,  $K_{ij} = p(t_{ij} \leq \tilde{t}_j)$ , где  $\tilde{t}_j$  – норма времени исполнения  $f_j$ ,  $t_{ij}$  – значение времени последнего исполнения  $f_j$  администратором  $a_i$ . Будем считать, что приращение  $\Delta \bar{t}_{ij}$  относительно среднего времени  $\bar{t}$  функции пропорционально вероятности невыполнения функции:  $\Delta \bar{t}_{ij} = \bar{t}_{ij} * (1 - K_{ij})$  (3). Тогда прогнозируемое время  $t^*_{ij}$  выполнения  $f_j$  администратором  $a_i$  будем рассчитывать следующим образом:  $t^*_{ij} = \bar{t}_{ij} + \Delta \bar{t}_{ij} = \bar{t}_{ij} + \bar{t}_{ij} * (1 - K_{ij})$  (4). В связи с утратой опыта, значение  $\Delta \bar{t}_{ij}$  увеличивается в зависимости от значения  $\Delta d$  по экспоненциальному закону:  $\Delta d_{ij} = (d_{ij}^n - d_{ij}^{n-1})$  (5), где  $\Delta d_{ij}$  – интервал между моментом времени последнего выполнения  $d_{ij}^{n-1}$  и моментом времени  $d_{ij}^n$  следующего назначения  $f_j$  на выполнение администратору  $a_i$ . В рамках решения поставленной задачи, прогнозируемое время  $t^*_{ij}$  на момент времени текущего назначения функции  $f_j$  будем рассчитывать по формуле:  $t^*_{ij} = \bar{t}_{ij} + \bar{t}_{ij} * e^{-\frac{1}{\Delta d}} (1 - K_{ij})$  (6).

В результате получим матрицу прогнозируемого времени выполнения функции  $A'F'$  отражает бинарное отношение множеств  $A'$  и  $F'$ , каждая упорядоченная пара которого выражена численным значением интегрального показателя прогнозируемого времени  $t^*_{ij}$  исполнения  $f_j \in F'$  администратором  $a_i \in A'$ . В случае, когда администратор  $a_i \in A'$  не может исполнять некоторую функцию  $f_j \in F'$ , значение  $t^*_{ij} = \infty$ .

**Постановка задачи.** В условиях ограниченных административных ресурсов (мощность множества  $A'$ ) с учетом ограничения, что на исполнение каждой  $f, f \in F'$ , отводится один административный ресурс, необходимо обеспечить оптимальное распределение ресурсов по ФА, обеспечив минимальное время устранения инцидентов КРИВС.

Особенность задачи оптимального назначения  $F'$  на  $A'$  заключается в том, что за один цикл администрирования будет исполняться некоторое подмножество  $F''$ ,  $F'' \subset F'$ , соответствующее  $|A'|$  - количеству доступных административных ресурсов. Подмножество  $F''$  будет формироваться в зависимости от условий, определяемых  $|F'|$ :

- Условие 1:  $|F'| \leq |A'| \Rightarrow F'' = F'$ . Восстановление производительности КРИВС может быть достигнуто за один цикл этапа исполнения функции административного управления;
- Условие 2:  $|F'| > |A'|$ . Ожидаемое полное восстановление производительности КРИВС может быть достигнуто за более чем один цикл этапа исполнения ФА.

Формирование  $F'' \subset F'$ , для каждого цикла происходит на основе значения приоритетов  $F'$ . Функции с большим приоритетом, распределяются на более ранние циклы, что обеспечивает первоочередное восстановление элементов с наивысшим показателем значимости для производительности КРИВС. Данная особенность позволяет достигать наибольшего возможного прироста производительности КРИВС на каждом цикле этапа исполнения ФА.

*Решение задачи.* Сформируем матрицу прогнозируемого времени выполнения ФА:

- Если  $|F''|=|A'|$ , построим квадратную матрицу  $A'F''$  размером  $|A'|=|F''|$ ;
- Если  $|F''|<|A'|$ , построим квадратную матрицу  $A'F''$  размером  $|A'|$ , дополняя ее нулевыми столбцами;

Поиск максимального паросочетания с оптимальными показателями прогнозируемого времени исполнения в двудольном графе  $G'$  представляет собой классическую алгоритмическую задачу о назначениях как частный случай транспортной задачи. Наиболее простым алгоритмом для решения подобных задач является алгоритм Куна-Манкреса, позволяющий решить задачу за полиномиальное время  $O(n^3)$ . Применяя алгоритм Куна-Манкреса к исходной матрице  $A'F'$  получаем единственное оптимальное решение по назначению требующих решения ФА по доступным администраторам с минимальным суммарным прогнозируемым временем восстановления производительности КРИВС (6).

*Применение.* На основании расчетов было выявлено, что производительность КРИВС предприятия в результате возникновения четырех инцидентов снизилась с  $E_{ном}=507.17$  до  $E_{ф}=159.55$  (Рисунок 1.3.1).

#### Первый цикл этапа исполнения ФА

Построим подграф  $G''(A',F'',Y)$  двудольного графа  $G'(A',F',Y)$  для первого цикла этапа исполнения ФА (Рис. 3):

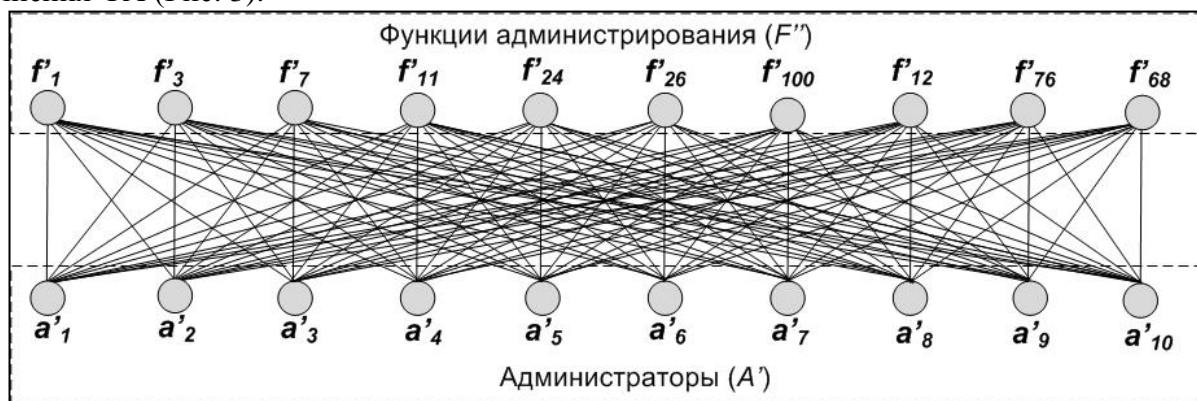


Рисунок 3 – подграф  $G''(A',F'',Y)$  первого цикла

Выполним поиск минимального значения суммы общего прогнозируемого времени по алгоритму Куна-Манкреса. Максимальное паросочетание оптимального назначения  $F''-A'$  (с наименьшей суммой  $t^*$ ) представлено на рисунке 4.

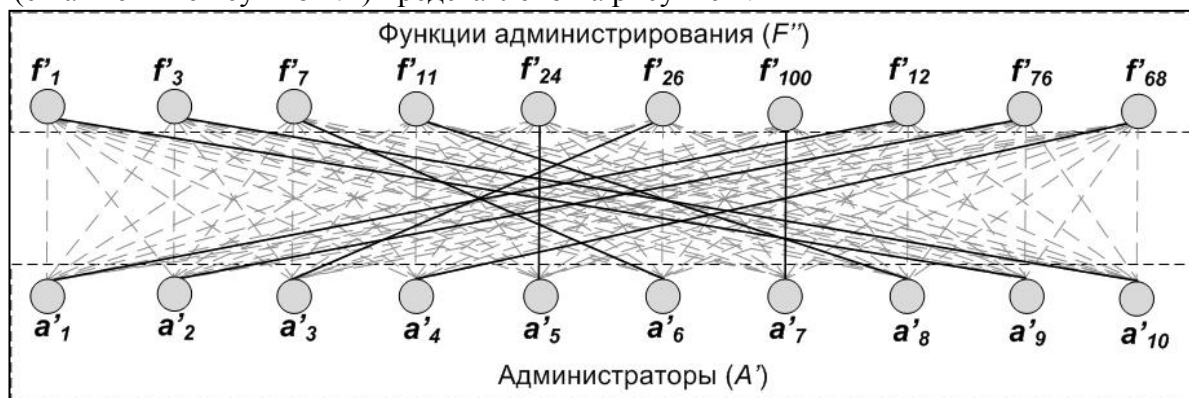


Рисунок 4 – Максимальное паросочетание оптимального распределения первого цикла

В ходе первого цикла этапа исполнения ФА можно прогнозировать прирост

производительности КРИВС (рис. 6).

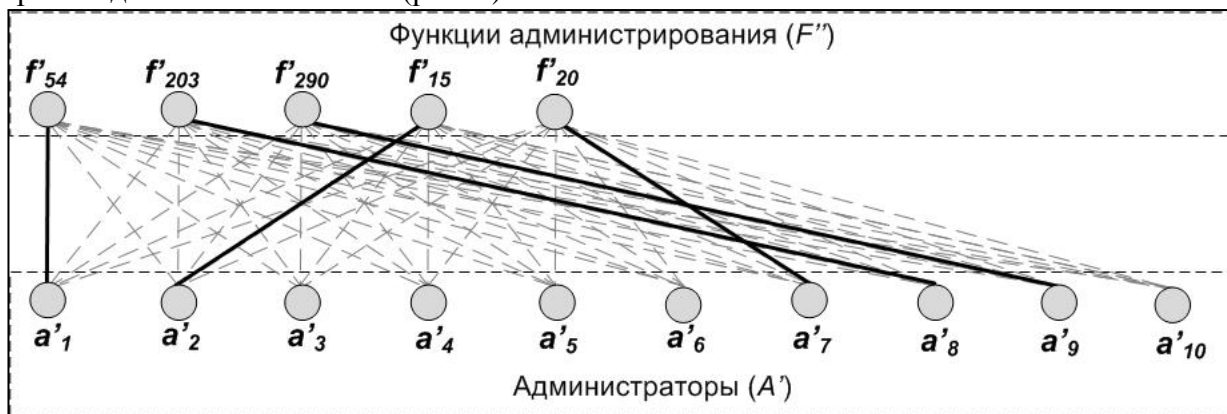


Рисунок 5 – Максимальное паросочетание оптимального распределения второго цикла

На рисунке 6 приведена диаграмма, отражающая динамику прироста производительности КРИВС за весь этап (первый и второй циклы) выполнения ФА.

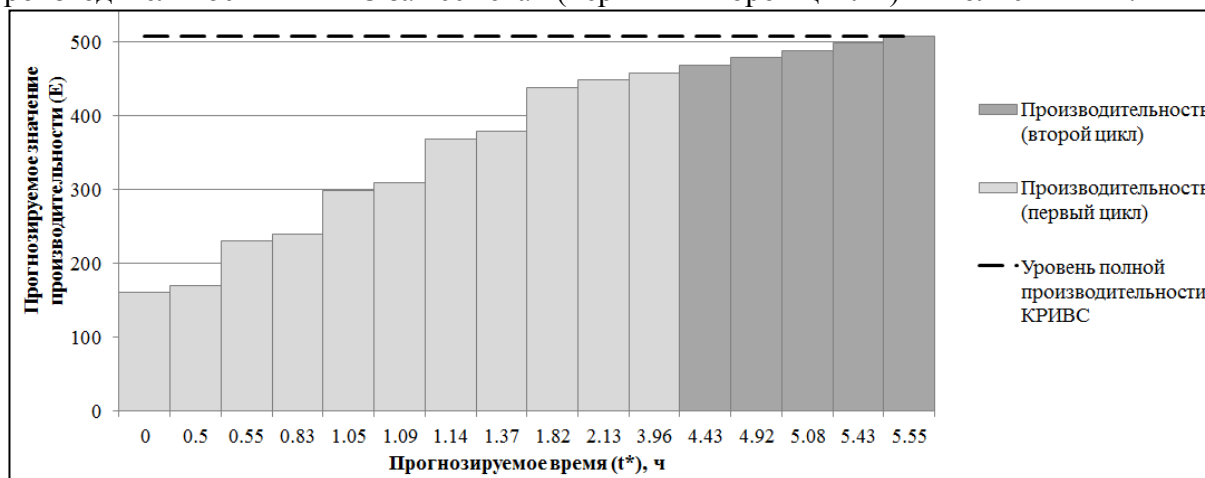


Рисунок 6 – Диаграмма прироста производительности КРИВС

В качестве решения задачи минимизации времени цикла восстановления производительности КРИВС, был предложен метод рационального назначения функций административного управления исполнителям при существовании множества альтернатив, то есть в условиях заданного множества требующих исполнения ФА и множества доступных для их выполнения исполнителей – администраторов КРИВС.

Метод основан на адаптированном алгоритме нахождения максимального паросочетания Куна — Манкреса и семействе сопутствующих моделей. Предложенные в качестве дополнений к алгоритму модель расчета весов ребер двудольного графа на основе параметров администратора САУ и алгоритм построения расчетной матрицы на основании количества и приоритетов ФА позволяют получить оптимальное решение по распределению требующих решения ФА по доступным администраторам с минимальным прогнозируемым суммарным временем восстановления производительности КРИВС.

Адекватность предлагаемых теоретических положений доказывается результатами расчетного эксперимента по восстановлению производительности КРИВС.