

**Е. А. Зинец**

## **МЕТОД И СРЕДСТВА СОЗДАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ**

*Разработан метод распределения трудовых ресурсов между задачами процесса с учетом пси-характеристик работы работников и уровня их нагрузки. Предложен новый подход к расчету эффективности работы с учетом пси-фактора. Реализована мультиагентную систему управления и контроля за распределением трудовых ресурсов.*

**Ключевые слова:** *распределение трудовых ресурсов, эффективность распределения трудовых ресурсов, пси-характеристики работы, эффективность работы, нагрузка работника, агентно-ориентированный подход, мультиагентная система.*

### **Актуальность темы**

Актуальность темы обусловлена ростом масштабов технологических процессов и возрастанием требований к своевременному завершению процесса за счет оптимального распределения ресурсов соответственно сетевому графику выполнения работ процесса. Задачи распределения трудовых ресурсов относятся к сложным многоэкстремальным задачам [1 – 5]. Существует лишь небольшое число частных случаев задач назначения, для которых предложены точные методы решения. К таким методам можно отнести венгерский метод, который применяется при распределении трудовых ресурсов между задачами, выполнение которых не связано между собою во времени. Кроме того, венгерский метод не учитывает загруженности трудовых ресурсов. Современные системы управления трудовыми ресурсами поддерживают функцию назначения и перераспределения трудовых ресурсов с точки зрения загруженности, но выбор, кому из работников назначить выполнение той или иной работы, все-таки лежит на менеджере проекта. А полагаться на интуицию и опыт менеджера не всегда возможно, особенно, если это менеджер-новичок. Поэтому возникает проблема поиска новых методов оптимального распределения трудовых ресурсов, которые разрешат уменьшить время выполнения процесса за счет повышения эффективности распределения трудовых ресурсов между задачами процесса.

### **Постановка задачи исследования**

Таким образом, возникает задача повышения эффективности распределения трудовых ресурсов между задачами процесса на основе новой технологии распределения трудовых ресурсов соответственно последовательности выполнения работ процесса с учетом пси-характеристик работы работника и уровня его нагрузки.

### **Метод решения задачи оптимального распределения трудовых ресурсов**

Для решения поставленной задачи предложена новая технология распределения трудовых ресурсов на основе агентно ориентированного подхода, который включает в себя:

- новый метод распределения трудовых ресурсов, который в отличие от существующих, что не учитывают пси-характеристики работы работника, разрешает распределять ресурсы соответственно сетевому графику и одновременно учитывать пси-характеристики работы работника и его нагрузку, за счет чего повышается оптимальность распределения трудовых ресурсов;
- новый подход к оцениванию эффективности работы разработчиков программного обеспечения, который, в отличие от существующих подходов, позволяет учитывать

такие пси-характеристики работы работника как быстродействие, уровень знаний, ответственность и надежность, за счет чего повышается точность оценивания эффективности работы работника;

- математическую модель взаимодействия агентов системы распределения трудовых ресурсов, которая в отличие от известных моделей, которые основываются на выборе агентом действия соответственно имеющимся знаниям о задаче и окружении, разрешает при выборе действия агента не только учитывать знание, а и прогнозировать следствия действия на общее распределение ресурсов, что дает возможность получить оптимальное распределение;
- математическую модель системы управления и контроля за распределением трудовых ресурсов, которая в отличие от известных моделей, ориентированных на распределение материальных ресурсов, разрешает учесть особенности трудовых ресурсов и дает возможность автоматизировать процесс контроля и распределения трудовых ресурсов.

Суть нового метода распределения трудовых ресурсов на основе агентно-ориентированного подхода состоит в следующем: каждая задача и каждый сотрудник представляется отдельными агентами; для обеспечения взаимодействия агентов определяются целевые функции агентов, последовательность, в которой агенты задач вступают в переговоры, тип взаимодействия.

В зависимости от сетевого графика выполнения работ процесса формируется последовательность, в которой агенты задач вступают в переговоры. Данная последовательность определяется как упорядоченное множество  $m$  подмножеств агентов  $V_1$  и  $V_k$  таких, что все работы, агенты которых принадлежат данному подмножеству, могут выполняться лишь после завершения всех работ, агенты которых принадлежат подмножеству с меньшим номером.

$$V_k = \{A_{T_i} \in I / P_{A_i}^I \subseteq \bigcup_{j=1}^{k-1} V_j\} \setminus \bigcup_{j=1}^{k-1} V_j, \quad k = \overline{2, m}, \quad (1)$$

где  $A_{T_i}$  – агент операции (работы)  $T_i$  процесса;  $P_{A_i}^I$  – множество агентов, операции которых непосредственно передуют операции  $T_i$ .

Агенты из подмножества  $V_1$  принимают решение о выборе стратегии, предусматривая реакцию агентов, которые выполняют выбор после них. Такое взаимодействие определяется по равновесию Неша 1 [6]:

$$\begin{aligned} NE_1(S_i, y_{G_i}) = \{y_{S_i} \in A_{S_i} / \forall j \in S_i \forall y_i \in A_j f_j(y_{G_i}, y_{S_i}, \psi_i(NE_1(L_i, y_{G_{i+1}}))) \geq \\ \geq f_j(y_{G_i}, y_{S_i} / y_j, \psi_i(NE_1(L_i, y_{S_i} / y_j, y_{G_i})))\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $y_{G_m} = (y_i)_{i \in G_m} \in A_{G_m} = \prod_{i \in G_m} A_i$  – вектор действий агентов из множества  $G_m$ ,

$y_{S_m} = (y_i)_{i \in S_m} \in A_{S_m} = \prod_{i \in S_m} A_i$  – вектор действий агентов из множества  $S_m$ ,  $y_{S_m} | y_i$  – вектор  $y_{S_m}$

действий агентов из множества  $S_m$ , в котором действия  $i$ -го агента заменены на  $y_i$ .

Агенты других подмножеств выбирают свои стратегии поведения как зависимости от будущего выбора других агентов. Такое взаимодействие определяется по равновесию Неша 2 [6]:

$$NE_2(I \setminus \{i\}, u_i(\cdot)) = \{y_{I \setminus \{i\}} \in A_{I \setminus \{i\}} / \forall_j \in I \setminus \{i\} \forall y_j \in A_j, f_j(y_{I \setminus \{i\}}, u_i(y_{I \setminus \{i\}})) \geq f_j(y_{I \setminus \{i\}} / y_j, u_i(y_{I \setminus \{i\}} / y_j))\}. \quad (3)$$

В общем виде взаимодействие агентов определяется совокупностью множества агентов, множества их допустимых действий и множества целевых функций.

$$C = (N, \{D_i\}_{i \in N}, \{f_i(\cdot)\}_{i \in N}), \quad (4)$$

где  $N$  – множество агентов,  $\{D_i\}_{i \in N}$  – множество их допустимых действий,  $\{f_i(\cdot)\}_{i \in N}$  – множество целевых функций агента.

Целевая функция поведения агента зависит от среды, в которой взаимодействуют агенты, целевой функции класса агента и вектора действий всех агентов:

$$f_i = f_i(f_{c_a}, \theta, d), \quad (5)$$

где  $f_{c_a}$  – целевая функция, которая определяется классом агента ( $f_{T_i}$  или  $f_{W_j}$ ),  $\theta$  – состояние среды,  $d = (d_i, d_{-i}) = (d_1, d_2, \dots, d_n) \in D' = \prod_{j \in N} D_j$  – вектор действий всех агентов.

Целевая функция класса задач состоит в максимизации эффективности работы работника

$$f_{T_i} = \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \varepsilon_{w_j T_i} X_{ij},$$

при условии (6)

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1, X_{ij} = [0,1].$$

Целевая функция класса сотрудников определяется минимизацией коэффициента нагрузки

$$f_{W_j} = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_{нагрузка_{w_j}} X_{ij},$$

при условии (7)

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1, X_{ij} = [0,1].$$

Исходя из рациональности поведения, каждый агент будет стараться выбрать наилучшее для него (с точки зрения его целевой функции) действие при заданных условиях. Поэтому принцип принятия агентом решения об избранном действии будет состоять в выборе действия, которое принесет ему наибольшую пользу в зависимости от состояния среды  $\theta \in \Omega$  и действий других агентов [6]:

$$BR_i(\theta, d_{-i}) = Arg \max_{d_i \in D_i} f_i(\theta, d_i, d_{-i}), i \in N. \quad (8)$$

Для расчета эффективности работы, которая используется в качестве целевой функции класса задач предложен новый подход, который, в отличие от существующих подходов, основанных на определении эффективности работы как отношения выполненной работы за единицу времени, разрешает учитывать такие пси-характеристики работы работника как быстродействие, уровень знаний, ответственность и надежность, за счет чего повышается точность оценивания эффективности работы работника.

Разработка программного обеспечения связанная с умственной деятельностью. Поэтому определение эффективности работы как отношения выполненной работы за единицу

времени не отображает всю сложность задачи, количество знаний и усилий, которые пошли на выполнение задачи определенным рабочим. Понятно, что скорость решения одной задачи разными сотрудниками зависит от опыта работы, уровня квалификации сотрудника, владения знаниями, которые необходимы для решения задачи. Кроме того, на эффективность работы также влияют и некоторые пси-факторы: быстродействие работника (в зависимости от темперамента человека), склонность к болезням и т. д. Поэтому мы предлагаем для определения эффективности работы ввести определенный коэффициент полезности.

Эффективность работы с учетом коэффициента полезности будет определяться как зависимость выполненной работы от времени затраченного на выполнение работы, которая зависит от величины коэффициента полезности.

$$\varepsilon_{w_j} = \frac{V_{T_i}}{t_{T,W_j} k_{\text{полезности}}}, \tag{9}$$

где  $V_T$  – полный объем работы,  $t_{T,W_j}$  – продолжительность выполнения операции работником,

$k_{\text{корисності}}$  – коэффициент полезности.

Коэффициент полезности представляет собой сложный коэффициент, который зависит от быстродействия работы, коэффициента надежности, коэффициента полезности, коэффициента осведомленности.

$$k_{\text{полезности}} = S_{W_j} k_{\text{осведомленности}} k_{\text{ответственности}} k_{\text{надежности}}, \tag{10}$$

где  $S_{W_j}(t) = \frac{V_{W_j}}{V_T}$  – коэффициент быстродействия работника,

$k_{\text{осведомленности}} = \frac{X_1 Z_1 k_1 Tech_1 + X_2 Z_2 k_2 Tech_2 + \dots + X_n Z_n k_n Tech_n}{k_1 Tech_1 + k_2 Tech_2 + \dots + k_n Tech_n}$  – коэффициент осведомленности,

$k_{\text{ответственности}} = [0,1]$  – коэффициент ответственности работника,  $k_{\text{надежности}} = \frac{N_{p.д.} - N_{n.д.}}{N_{p.д.}}$  –

коэффициент надежности работника,  $N_{p.д.}$  – количество рабочих дней за определенный период,  $N_{n.д.}$  – количество дней, какие работник  $W_j$  отсутствовал на работе,  $Z_n$  – коэффициент, который указывает владеет ли работник технологией,  $Z_n = [0,1]$ ,  $k_n Tech_n$  – объем части работы, которую выполняют с помощью технологии  $Tech_n$ ,  $n$  – количество технологий.

Эффективность работы, определенная за данным подходом, будет более информативной, так как она учитывает пси-характеристики работы работника. А целевая функция максимизации эффективности выполнения работы с учетом пси-характеристик работы работника разрешит оптимально распределить трудовые ресурсы между задачами процесса.

Используя разработанный метод распределения трудовых ресурсов и подход к определению эффективности работы работника была разработана математическая модель распределения трудовых ресурсов, в которой учитывается продолжительность выполнения работ работником в зависимости от пси-характеристик его работы и степень его загруженности. Данная математическая модель распределения трудовых ресурсов послужила основой математической модели мультиагентной системы распределения трудовых ресурсов

*Найти минимум целевой функции*

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{T_{W_j}} \left| k_{нагрузки_{W_j}} - k_{opt} \right| X_{ij},$$

при условии

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, \quad (11)$$

где  $X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j - \text{работник исполняет } i - \text{ю задачу;} \\ 0, & \text{в других случаях.} \end{cases}$

$t_{T_{W_j}} = \frac{V_{T_i}}{8k_{полезности}}$  – продолжительность выполнения задачи  $T_i$  работником  $W_j$ , которая зависит от пси-характеристик работника.

Перед мультиагентной системой контроля и управления за распределением трудовых ресурсов, кроме задачи оптимального распределения ресурсов, ставилась еще задача обеспечить контроль за распределением ресурсов. Данная задача легла в основу определения целевой функции агента контроля показателей работы работников, которую можно представить следующим образом:

$$K_n = F < T_q, U, W_{P_k}, N_{\lambda_{P_k}}, A_{\lambda_i}(P_k, t), \varepsilon_{\lambda_i}(P_k, t), K_{\lambda_i}, f_{P_k}(t, d_{P_k}) > \rightarrow K_{opt}, \quad (12),$$

где  $K_n$  – коэффициент критичности работника,  $T_q$  – время полной обработки запроса пользователя,  $U$  – объем потока данных,  $W_{P_k}$  – общее количество проектов фирмы,  $N_{\lambda_{P_k}}$  – количество работников, задействованных в проекте  $P_k$ ,  $A_{\lambda_i}$  – интенсивность общения отдельного сотрудника  $\lambda_i$  с другими сотрудниками в границах проекта  $P_k$  за промежуток времени  $t$ ,  $\varepsilon_{\lambda_i}$  – эффективность работы каждого сотрудника  $\lambda_i$  в границах проекта фирмы  $P_k$  за промежуток времени  $t$ ,  $K_{\lambda_i}$  – коэффициент полезности сотрудника  $\lambda_i$  для фирмы,  $f_{P_k}(t, d_{P_k})$  – функция желательности результатов выполнения проекта,  $d_{P_k}$  – срок, на протяжении которого необходимо выполнить проект  $P_k$ ,  $k$  – номер проекта.

Задание агента контроля показателей работы работников состоит в определении наиболее "критических" работников, потеря трудоспособности которых приведет к возрастанию вероятности несвоевременного выполнения проекта. Для таких показателей коэффициент критичности больше оптимального его значения.

Разработанный метод распределения ресурсов на агентной основе, математическая модель распределения ресурсов с учетом пси-характеристик и уровня нагрузки работы работника, пси-ориентированный подход к определению эффективности работы работника легли в основу построения математической модели мультиагентной системы управления и контроля за распределением ресурсов, которую можно представить в следующем виде:

$$MAS = (A, A_{clas}, C, ENV, S, R), \quad (13)$$

где  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i\}$  – множество всех агентов системы,  $A_{clas} = \{A_c, A_{T_i}, A_{W_j}\}$  – множество всех возможных классов агентов системы,  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  – множество всех возможных взаимодействий между агентами системы,  $ENV = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$  – множество всех возможных сред системы,  $S = \{s, s', s'', \dots\}$  – множество всех возможных состояний системы,

$R$  – множество всех возможных взаимодействий между средами.

Математическая модель агента мультиагентной системы имеет следующий вид:

$$agent = (S, A, env, see, I_B, bel, brf, I_D, des, drf, prf), \quad (14)$$

где  $S$  – непустое конечное множество состояний внешней среды;  $A$  – непустое конечное множество действий агента;  $env: S \times A \rightarrow 2^S$  – функция поведения внешней среды, которая сравнивает соответствующие действительности состояние среды с избранным множеством возможных следующих состояний внешней среды. Таким образом, действия агента могут влиять на окружающую среду, и не контролировать его полностью;  $see \subseteq S \times S$  – корректное восприятие агентом состояний внешней среды;  $I_B = I_{bel} \times 2^{P \times A \times P}$  – множество представлений агента;  $bel \in I_B$  – множество текущих представлений агента;  $brf: I_B \times A \times P \rightarrow I_B$  – функция обновления представлений;  $I_D = I_{des} \times 2^{Goal}$  – множество целей агента;  $des \in I_D$  – множество текущих целей агента;  $drf: I_D \times P \rightarrow I_D$  – функция обновления целей.

Полученные результаты сравнения разработанного метода с существующими показали, что венгерский метод не дает желательных результатов распределения трудовых ресурсов. При использовании данного метода или нарушается ограничение на запрет привлечения к выполнению проекта дополнительных ресурсов, или же значительно увеличивается срок выполнения проекта, который противоречит желаниям заказчиков. Оценки времени выполнения проекта показали, что использование коэффициента полезности при распределении ресурсов за разработанным методом разрешает более точно оценить продолжительности выполнения работы тем ли другим работником и избрать наилучший вариант. Это разрешило сократить запланированное время выполнения проекта на 11%. Значение средневзвешенной вариации потребности в ресурсах за разработанным методом составляет 1,85. Кроме того, разработанный метод разрешает автоматизировать процесс распределения трудовых ресурсов, полученное распределение будет оптимальное.

### Выводы

В статье рассмотрена новая информационная технология распределения трудовых ресурсов, которая разрешила повысить эффективность распределения трудовых ресурсов между задачами процесса за счет использования агентно ориентированного подхода, учета пси-характеристик работы работника и уровня его нагрузки. По данной технологии построена мультиагентная система управления и контроля распределения трудовых ресурсов. Разработанная система разрешила: процесс назначения работника на выполнение той или другой работы, что выполнялся исключительно менеджером проекта, доверить интеллектуальным агентам; избежать полного перебора возможных назначений работников на выполнение той или другой работы за счет обеспечения переговоров между агентами системы; обеспечить оптимальное распределение трудовых ресурсов в соответствии с последовательностью выполнения работ и нагрузки работника работой одновременно с учетом пси-характеристик работы работников при оценке продолжительности выполнения работы, что разрешило получить более точные рабочие графики и гистограммы потребности трудовых ресурсов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК). Третье издание. Национальный американский стандарт ANSI/PMI. – США: Project Management Institute, 2004. – 388 с.
2. Роберт Т. Фетрелл, Дональд Ф. Шафер, Линда И. Шафер. Управление программными проектами. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1125 с.
3. Хемди А. Таха. Исследование операций. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 901 с.
4. Баркалов П. С., Буркова И. В., Глаголев А. В., Колпачев В. Н. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами. – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2002. – 63 с.

5. Войцех Е. А. Применение методов сетевого планирования при разработке класса агентов мультиагентной системы управления и контроля распределения трудовых ресурсов // Вестник Херсонского национального технического университета № 1 (24). – 2006. – Херсон. –135 – 138 с.

6. Новиков Д. А. Сетевые структуры и организационные системы. – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003. – 102 с.

*Зинец Елена Анатольевна* – аспирант кафедры информационного менеджмента. e-mail: E.A.Zinets@mail.ru

Винницкий национальный технический университет.