

АЛГОРИТМ ВЗАИМОРАСЧЕТОВ УЧАСТНИКОВ ИННОВАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА

Инновационно-промышленный кластер – объединение субъектов хозяйствования с целью их эффективного взаимодействия и совместного устойчивого развития [1].

Проведенный системно-функциональный анализ становления и развития кластерных систем позволил разработать и предложить концепцию цифровой платформы инновационно-промышленного кластера (ЦППК), являющейся компонентой специализированной инфраструктуры кластерного развития [2]. В отличие от ERP-систем, нацеленных на автоматизацию отдельных предприятий, предложенная в [2] концепция подразумевает решение принципиально новых задач в рамках цифровой платформы. Одной из этих задач является клиринг взаиморасчетов участников инновационно-промышленного кластера.

В результате совместной деятельности между субъектами хозяйствования участниками ПК возникают требования и обязательства, которые выражаются в числовой форме и изменяются во времени.

Рассмотрим систему:

$$S \equiv \langle V, M(t), E, D, P(t) \rangle,$$

где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество n участников ПК; $M(t) = (m_{i,j}(t))_{n \times n}$ – квадратная матрица размерности n , значение каждого элемента $m_{i,j}(t) \geq 0$ которой равно величине обязательств участника v_i перед участником v_j на момент времени t ; $E = (e_{i,j})_{n \times n}$ – квадратная матрица, значение каждого элемента $e_{i,j} \geq 0$ которой равно величине издержек (например, стоимость банковского перевода) участника v_i при погашении обязательств перед участником v_j ; $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ – коэффициенты, определяющие величину издержек для участников ПК, возникающие при привлечении денежных средств (например, дневная процентная ставка по банковскому кредиту); $P(t) = \{p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)\}$ – потенциалы участников, где каждое значение равно максимальной величине, которую участник v_i может потратить на погашение своих суммарных обязательств перед другими участниками в момент времени t .

Состояние системы S на момент времени t описывается матрицей $M(t)$. Элементы матрицы

$$M = \begin{pmatrix} m_{1,1} & \dots & m_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n,1} & \dots & m_{n,n} \end{pmatrix}$$

это обязательства $m_{i,j} = m_{i,j}(t_1)$ участников кластера в фиксированный момент времени $t = t_1$. Матрицу M можно рассматривать как матрицу смежности взвешенного ориентированного графа, отображающего состояние системы в фиксированный момент времени. На рис. 1 приведен пример матрицы смежности графа, отображающего обязательства между пятью участниками ПК.

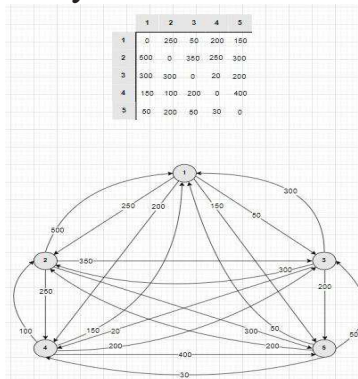


Рисунок 1 – Граф, отображающий состояние системы S

Сформулируем задачу клиринга расчетов в ПК, как вычисление элементов матрицы $R = (r_{i,j})_{n \times n}$, минимизирующих функцию:

$$F = \sum_i \sum_j \chi_{i,j} e_{i,j} + d_i r_{i,j}, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

При следующих ограничениях:

$$\chi_{i,j} = \begin{cases} 0, & r_{i,j} = 0 \\ 1, & r_{i,j} \neq 0 \end{cases}; \quad (2)$$

$$r_{i,j} \geq 0; \quad (3)$$

$$\forall i \sum_j r_{i,j} = \min(p_i, \max(0, \sum_j m_{i,j} - \sum_j m_{j,i})). \quad (4)$$

Элементы матрицы $R = (r_{i,j})_{n \times n}$ вычисляются перед первой фазой каждого шага изменения состояния системы S , а сама матрица может интерпретироваться как оптимальный план погашения обязательств с учетом возможностей (потенциала) участников.

Упростим задачу, допустив, что участники кластера обладают неограниченными потенциалами. Тогда целевая функция (1) примет вид:

$$F = \sum_i \sum_j \chi_{i,j} e_{i,j} + r_{i,j}, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (1')$$

Для решения задачи введем $B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$ – вектор, каждый элемент которого $b_i = \sum_j m_{i,j} - \sum_j m_{j,i}$ которого равен разнице суммар-

ных обязательств участника v_i и суммарных обязательств всех других участников перед v_i .

Рассмотрим алгоритм *pure_expense_glade* построения матрицы R . Псевдокод алгоритма представлен на рис. 2.

```

pure_expense_glade


---


1.  $\forall(i, j) \Rightarrow r_{i,j}^0 = 0, \forall i \Rightarrow b_i^0 = b_i, k = 0.$ 
2.  $\exists(i, j) | b_i^k > 0 \wedge b_j^k < 0 \Rightarrow stop.$ 
   select (i, j) | min(ei,j)
    $k = k + 1$ 
    $\alpha = \min(b_i^{k-1}, |b_j^{k-1}|),$ 
    $r_{i,j}^k = r_{i,j}^{k-1} + \alpha,$ 
    $b_i^k = b_i^{k-1} - \alpha,$ 
    $b_j^k = b_j^{k-1} + \alpha.$ 
3. go to 2.

```

Рисунок 2 – Псевдокод алгоритма *pure_expense_glade* построения матрицы R

На шаге 1 алгоритма осуществляется инициализация начальной нулевой матрицы R^0 и вектора B^0 , вначале равного вектору B .

В рамках каждой итерации выполняются 2 шага (на рис. 2 – шаги 2 и 3). В результате каждой итерации формируются матрица R^k и вектор B^k . На каждом шаге итерации оператор *select* (на рис. 2 выделен жирным шрифтом), выбирает пару (i, j) , определяющую на каждом шаге алгоритма дебитора и кредитора, для которой величина издержек $e_{i,j}$ минимальна. Затем изменяется один элемент $r_{i,j}^k$ текущей матрицы R^k и выбранная пара (уменьшаются абсолютные значения обязательств и требований) текущей матрицы B^k . Построение матрицы R завершается, если все элементы вектора B^k равны нулю. Матрица R^k полученная на последней итерации, является искомым планом R . Построение плана R осуществляется за $\alpha \in [\max(|\{v_i^+\}|, |\{v_i^-\}|), |\{v_i^+\}| + |\{v_i^-\}| - 1]$ итераций, где $|\{v_i^+\}|$ и $|\{v_i^-\}|$ количества кредиторов и дебиторов.

Выводы:

1. Сложность рассмотренного алгоритма не превышает $O(n^2)$, поэтому он вполне может быть применим для большого количества участников кластера.

2. Предложенный алгоритм клиринга взаиморасчетов между участниками ПК позволяет получить оптимальный план погашения обязательств в рамках одной клиринговой сессии при существенном

допущении – отсутствии издержек при привлечении денежных средств у участников кластера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ташенова, Л.В. Цифровая платформа системообразующего инновационно-активного промышленного кластера: понятие, особенности и структура / Л.В. Ташенова, А.В. Бабкин // Кластеризация цифровой экономики: Глобальные вызовы: Сборник трудов национальной научно-практической конференции с зарубежным участием. В 2-х томах, Санкт-Петербург, 18–20 июня 2020 года / Под редакцией Д.Г. Родионова, А.В. Бабкина. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – С. 196-208. – DOI 10.18720/IEP/2020.4/23.

2. И.В. Новикова, В.В. Смелова, Ю. А. Тимофеева, Д.В. Шиман. Концепция цифровой платформы инновационно-промышленного кластера // Минские чтения, 2022.

УДК 004.021

Маг. В.В. Смелова; доц. Д.В. Шиман
(БГТУ, г. Минск)

АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ВАЛОВОГО ОБЪЕМА ПРОДУКЦИИ ИННОВАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА

Инновационно-промышленный кластер – объединение субъектов хозяйствования с целью их эффективного взаимодействия и совместного устойчивого развития [1].

Проведенный системно-функциональный анализ становления и развития кластерных систем позволил разработать и предложить концепцию цифровой платформы инновационно-промышленного кластера (ЦППК), являющейся компонентой специализированной инфраструктуры кластерного развития [2]. В отличие от ERP-систем, нацеленных на автоматизацию отдельных предприятий, предложенная в [2] концепция подразумевает решение принципиально новых задач в рамках цифровой платформы. Одной из этих задач является планирование валового объема продукции инновационно-промышленного кластера.

В качестве основы для решения задачи планирования валового объема производимой участниками ПК предлагается применить балансовый метод Леонтьева [3]. В соответствии с методом, вычисление валового объема продукции взаимодействующих в рамках