УДК 004.622

И.В. Новикова, проф., д-р экон. наук;
В.В. Смелова, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

КЛИРИНГ ВЗАИМОРАСЧЕТОВ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ ИННОВАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА

Инновационно-промышленные кластеры (ПК) – закономерный этап эволюции промышленности, обусловленный необходимостью координации деятельности совместно работающих предприятий [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. ЦППК представляет собой информационную систему, предназначенную для поддержки деятельности кластера на протяжении всего его жизненного цикла [2]. В концепции рассматривается структура ЦППК, включающая инфраструктуру, фреймворк платформы, сервисы и состав пользователей ЦППК. Пользователи используют сервисы для решения задач, предусмотренных функциональностью ЦППК. Основной целью создания ЦППК является повышение эффективности работы взаимодействующих субъектов хозяйствования-участников ПК на основе решения принципиально новых задач. Одной из таких прикладных задач является клиринг расчетов между участниками инновационно-промышленными кластера (УПК). При этом под клирингом расчетов понимается зачет взаимных требований и обязательств, возникающих между УПК в результате их совместной хозяйственной деятельности в рамках кластера. В работе [3] рассматривается постановка схожей задачи – применения клиринга для внутрихолдинговых расчетов, рассматриваются виды клиринга

В результате совместной деятельности, между субъектами хозяйствования участниками ПК возникают требования и обязательства, которые выражаются в числовой форме. Сформулируем задачу клиринга расчетов в ПК, как вычисление элементов матрицы $R = (r_{i,j})_{n\times n}$ минимизирующих функцию:

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

при следующих ограничениях: $\chi_{i,j} = \begin{cases} 0, r_{i,j} = 0 \\ 1, r_{i,j} \neq 0 \end{cases}, \quad r_{i,j} \geq 0$,

$$\forall\, i \sum_j r_{i,j} = \max\left(0, \sum_j m_{i,j} - \sum_j m_{j,i}\right) \qquad (2)$$

где $\mathrm{M} = \left(\mathrm{m_{i,j}}\right)_{\mathrm{n \times n}}$ – квадратная матрица размерности n значение каждого элемента $\mathrm{m_{i,j}} \geq 0$ которой, равно величине обязательств участника i перед участником j, $\mathrm{E} = \left(\mathrm{e_{i,j}}\right)_{\mathrm{n \times n}}$ – квадратная матрица n, значение каждого элемента $e_{i,j} \geq 0$ которой равно величине издержек (например, стоимость банковского перевода) участника i при погашении обязательств перед участником j, $\mathrm{D} = \{\mathrm{d_1, d_2, \dots, d_n}\}$ – коэффициенты, определяющие величину издержек для участников ПК, возникающие при привлечении денежных средств (например, дневная процентная ставка по банковскому кредиту).

Сумма $\chi_{\mathrm{i,j}}\mathrm{e_{i,j}} + \mathrm{d_i r_{i,j}}$, входящая в выражение (1), отражает издержки УПК i при погашении обязательств перед участником j, а все выражение (1) отражает суммарные издержки при выполнении плана, заданного матрицей R. Матрица $\mathrm{R} = (\mathrm{r_{i,j}})_{\mathrm{n \times n}}$ может интерпретироваться как оптимальный план погашения обязательств. При этом каждый элемент $r_{i,j} > 0$ – это величина обязательств участника i перед участником j, которая в соответствии с этим планом должна быть погашена. Ограничение (2) отражает следующее: сумма обязательства, которые в соответствии с планом R обязан погасить любой участник i, должна быть равна положительной разности между его суммарными обязательствами и суммарными обязательствами других участников перед ним или равна 0.

Путь $\mathrm{B} = (b_1 \quad \dots \quad b_n)^{\mathrm{T}}$ вектор, каждый элемент $b_i = \sum_j m_{i,j} - \sum_j m_{j,i}$ которого равен разнице суммарных обязательств участника i и суммарных обязательств всех других участников перед ним. Участников i, для которых $b_i > 0$, будем назвать дебиторами и обозначать i^+, а участников, у которых $b_i < 0$ – кредиторами и обозначать i^-. Очевидно, что в соблюдается баланс: $\sum_{i^+} b_i + \sum_{i^-} b_i = 0$.

На рисунке 1 представлен псевдокод алгоритма *pure_expense_glade* построения матрицы R. На шаге 1 алгоритма осуществляется инициализация начальной нулевой матрицы $\mathrm{R^0}$ и вектора $\mathrm{B^0}$ вначале равного вектору B. В рамках каждой итерации выполняются 2 шага (на рис. 1 – шаги 2 и 3). В результате каждой итерации формируются матрица R^{k} и вектор $\mathrm{B^k}$. На каждой итерации изменяется один элемент $\mathrm{r^k_{i,j}}$ текущей матрицы $\mathrm{R^k}$ и два элемента (уменьшаются абсолютные значения обязательств и требований) текущей матрицы $\mathrm{B^k}$. Оператор select (на рисунке выделен жирным шрифтом) выбирает пару (i, j), определяющую на каждой итерации алгоритма дебитора и кредитора и при этом величина издержек $e_{i,j}$ минимальна. Построение матрицы R завершается, если все элементы вектора B^{k} равны нулю. Матрица R^{k} полученная на последней итерации, является искомым решением R – оптимальным планом погашения обязательств.

pure_expense_glade

1. $\forall(\mathrm{i},\mathrm{j}) \Rightarrow \mathrm{r}^{0}_{\mathrm{i,j}} = 0,\ \forall \mathrm{i} \Rightarrow \mathrm{b}^{0}_{\mathrm{i}} = \mathrm{b}_{\mathrm{i}},\ \mathrm{k} = 0.$
2. $\nexists(\mathrm{i},\mathrm{j})|\mathrm{b}^{\mathrm{k}}_{\mathrm{i}} > 0 \wedge \mathrm{b}^{\mathrm{k}}_{\mathrm{j}} < 0 \quad \Rightarrow \ \mathit{stop}.$

   $\mathbf{select\ (i,j)|min(e_{i,j})}$

   $\mathrm{k} = \mathrm{k} + 1$

   $\alpha = \min\left(\mathrm{b}^{\mathrm{k}-1}_{\mathrm{i}}, |\mathrm{b}^{\mathrm{k}-1}_{\mathrm{j}}|\right),$

   $\mathrm{r}^{\mathrm{k}}_{\mathrm{i,j}} = \mathrm{r}^{\mathrm{k}-1}_{\mathrm{i,j}} + \alpha,$

   $\mathrm{b}^{\mathrm{k}}_{\mathrm{i}} = \mathrm{b}^{\mathrm{k}-1}_{\mathrm{i}} - \alpha,$

   $\mathrm{b}^{\mathrm{k}}_{\mathrm{j}} = \mathrm{b}^{\mathrm{k}-1}_{\mathrm{j}} + \alpha.$
3. $\mathit{go\ to}\ 2.$

Рисунок 1 – Псевдокод алгоритма *pure_expense_glade* построения матрицы R.

В качестве примера на рисунке 2 представлены исходные данные (матрицы M и E) и результат (матрица $\mathrm{R} = \mathrm{R}^4$) выполнения алгоритма *pure_expense_glade.*

M

	1	2	3	4	5
1	0	100	0	200	150
2	200	0	300	250	0
3	0	20	0	0	200
4	50	30	100	0	0
5	20	30	50	0	0

B^0

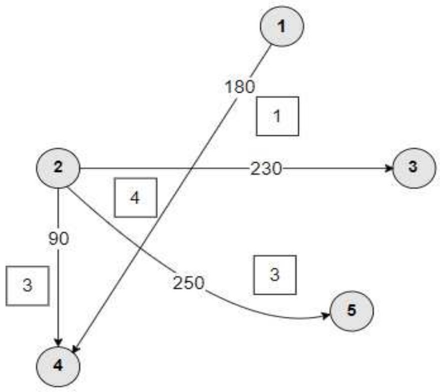
	1
1	180
2	570
3	-230
4	-270
5	-250

E

	1	2	3	4	5
1	0	5	4	1	2
2	5	0	4	3	3
3	6	5	0	5	6
4	6	5	6	0	5
5	6	5	5	5	0

R^4

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	180	0
2	0	0	230	90	250
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0



F = (1+180) + (3+90) + (3+250) + (4+230) = 11 + 750 = 761

Рисунок 2 – Пример выполнения алгоритма *pure_expense_glade*

На рисунке 2 отображен вектор B^0, вычисляемый на первом шаге алгоритма и содержащий дебиторские (отрицательные значения) и кредиторские (положительные значения) суммы, вычисляемые на основе матрицы M. Матрица R^4 является результатом четырех итераций алгоритма и содержит оптимальный план погашения обязательств между участниками ПК. Граф, изображенный на рисунке, построен на основе матрицы R^4 и отображает движения средств между участниками ПК для погашения взаимных обязательств в соответствии планом, заданным этой матрицей. Пронумерованными окружностями на схеме обозначены участники, метки стрелок обозначают величину погашаемой задолженности, а числовые значения в прямоугольниках – издержки на погашение обязательств.

Следует отметить, что в общем случае возможно получение нескольких различных планов взаиморасчетов, приводящих к одному и тому же минимальному значению целевой функции (1).

Сложность алгоритма и *pure_expense_glade* не превышает $O(n^2)$, что позволяет его применять в кластере с большим количеством n участников ПК.

Очевидно, что клиринг взаиморасчетов будет эффективным при достаточно большом количестве участников ПК и высокой интенсивности взаиморасчетов между ними. Отдельному рассмотрению подлежит организация клиринговых сессий, а также арбитраж расчетов при недостаточности средств у кредиторов для выполнения плана взаиморасчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новикова И.В., Макуров Л.Г Кластерная организация как институт развития в постиндустриальной экономике: методология анализа //Труды БГТУ. 2019.№1. С. 5-12.

2. И.В. Новикова, В.В. Смелова, Ю.А. Тимофеева, Д.В. Шиман. Концепция цифровой платформы инновационно-промышленного кластера. Импортозамещение, научно-техническая и экономическая безопасность : сб. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения – 2022», Минск, 7–9 декабря 2022 г.: в 3 т. – Минск : БГТУ, 2022. – Т. 2. С. 3-7.

3. Немцева, Ю. В. Клиринг обязательств как средство оптимизации системы внутрихолдинговых расчетов / Ю. В. Немцева, А. В. Беккер // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 6-1. – С. 85-91. – EDN BTFFYE.