

## КОНЦЕПЦИЯ ПРОГРАММНОГО ФАСИЛИТАТОРА ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНА ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА

**Введение.** В общем случае промышленный кластер представляет собой совокупность независимых субъектов хозяйствования (участников кластера), объединившихся с целью повышения эффективности совместной деятельности. Основным признаком кластера – отсутствие единого централизованного управления: участники кластера руководствуются только горизонтальными договорными обязательствами между собой, образуя при этом устойчивые производственные цепочки. В [1] предложена концепция цифровой платформы промышленного кластера – специализированной компоненты инфраструктуры кластера, представляющей собой информационную систему, предназначенную для поддержки деятельности и развития кластера на протяжении всего его жизненного цикла. Создание такой платформы позволит решать принципиально новые задачи, повышающие эффективность деятельности участников кластера. В [2] сформулирована задача многостороннего клиринга для взаиморасчетов между участниками кластера. В работе [3] формально описывается кластер, как система участников, образующих производственные цепочки для выпуска промежуточной и конечной продукции, а также предложен метод планирования валового объема, производимой участниками кластера, продукции на основе балансовой модели В.В. Леонтьева. В [4 – 5] вводится понятие системы планирования в промышленном кластере и развивается метод, предложенный в работе [3].

В виду отсутствия централизованного управления и централизованного планирования деятельности промышленного кластера, применение методов и соответствующих алгоритмов для вычисления планов выпуска участниками кластера продукции является нетривиальной задачей. Каждый участник кластера является независимым предприятием, имеющим собственные цели и ограничения. При этом, как правило, предприятия противодействуют распространению информации о состоянии, возможностях и планах бизнеса. Если число участников кластеров велико, а технологические цепочки длинные и пересекаются между собой, построение совместного плана может вылиться в бесконечную череду согласований общего плана между участниками кластера.

В работе [6] предложена формальная система согласования производственного плана. Система предполагает шесть ролей для участников кластера. Каждой роли соответствует своя модель локального планирования, представляющая собой схему задачи на поиск экстремума. Процесс построения консолидированного (согласованного) плана сводится к построению и согласованию реализаций моделей локальных планов с помощью операторов трех типов. Результатом решения задач для всех согласованных реализаций локальных планов является консолидированный план промышленного кластера. Основной проблемой возникающей при применении этой системы согласования является отсутствие алгоритма, который бы гарантированно приводил бы к согласованному плану.

Другими словами, система предполагает, что участники кластера заинтересованы в согласовании плана и за конечное число согласований (последовательность операторов) придут к общему согласованному плану производства продукции.

**Система планирования.** Следуя работе [3] формально определим кластер как систему, которая описывается четверкой

$$S \equiv \langle C, P, R, A \rangle, \quad (1)$$

где  $C = \{c_i, i = \overline{1, n}\}$  – перечень участников кластера;  $P = \{p_i, i = \overline{1, m}\}$  – номенклатура продукции, производимой участниками кластера;  $R = \{r_i, i = \overline{1, h}\}$  – бинарное отношение  $R \subseteq C \times P$ , элементы которого  $r_i = \langle c_j, p_k \rangle$ ,  $i = \overline{1, h}$ ,  $1 \leq j \leq n$ ,  $1 \leq k \leq m$  (далее продукты  $r_i$ ) соответствуют продукции  $p_k \in P$ , выпускаемой участниками  $c_j \in C$ ;  $A = \{a_{i,j}\}_h$  – квадратная матрица размерности  $h$ , каждый элемент  $a_{i,j}$  которой отражает количество продукта  $r_j$ , необходимого для производства продукта  $r_i$ .

Используя [6] определим систему планирования в кластере  $S$  как пятерку

$$H_s \equiv \langle F, Y^0, L, O, NSF \rangle, \quad (2)$$

где  $F = \{F_i, i = \overline{1, h}\}$  – множество моделей  $F_i$  локальных планов для продуктов  $R$  кластера  $S$ ;  $Y^0 = (y_1^0 \ y_2^0 \ \dots \ y_h^0)^T$  – матрица-столбец, элементы  $y_i^0$  которого задают начальные плановые значения объемов продуктов, предназначенных для внешних потребителей;  $L = \{L_i(\rho), i = \overline{1, k}\}$  – логические выражения, определяющие условия согласованности реализаций моделей  $F_i$ ;  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_s\}$  – операторы преобразования реализаций моделей  $F_i$ ;  $NSF$  – неформализованные

в  $H_s$  процедуры, генерирующие операторы  $o \in O$  из соображений, выходящих за пределы системы планирования  $H_s$ .

На рисунке 1 изображен пример схемы кластера, производящего 6 продуктов  $R = \{r_i, i = \overline{1,6}\}$ : 2 из них ( $r_1$  и  $r_4$ ) предназначен только внешнего потребления, 2 продукта ( $r_2$  и  $r_3$ ) – только для внутреннего потребления и 2 продукта ( $r_5$  и  $r_6$ ) – для внутреннего и внешнего потребления. Для каждого продукта  $r_i$  на рисунке 1 представлена своя модель  $F_i, i = \overline{1,6}$  локального планирования. Технологические цепочки, связывающие продукты  $R$  кластера (1), определяются матрицей  $A$  (на рисунке 1 изображены стрелками). Объемы  $Y$  продуктов, предназначенные для внешнего потребления (штриховые стрелки), изначально задаются матрицей-столбцом  $Y^0$  системы планирования (2) и в процессе планирования могут быть скорректированы.

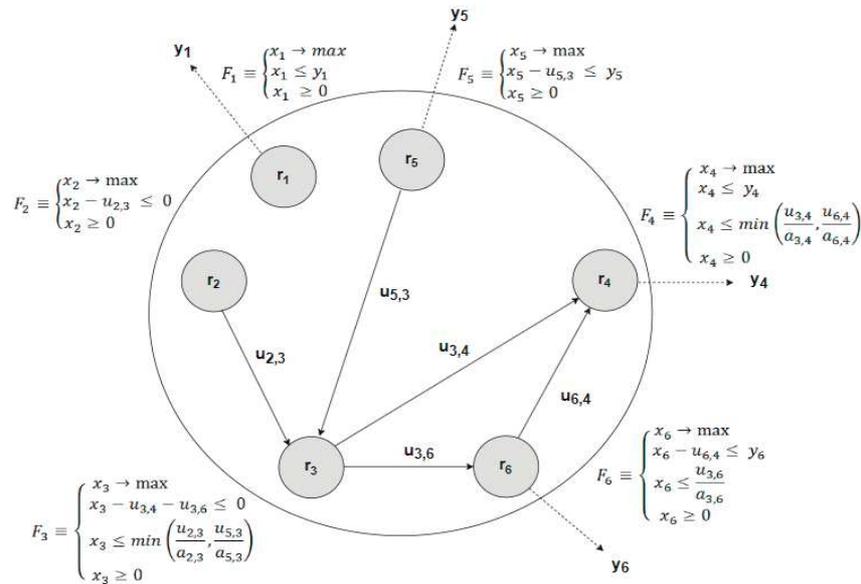


Рисунок 1 – Пример схемы кластера, производящего 6 продуктов

На рисунке 2 отображены матрица  $A$ , матрица-столбец  $Y$ , матричные выражения для вычисления валового плана  $X$  и объемов  $U$  продуктов, предназначенных для внутрикластерного перемещения и потребления.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{2,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{3,4} & 0 & a_{3,6} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{5,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{6,4} & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ 0 \\ 0 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \end{pmatrix}$$

$$X = (1 - A)^{-1}Y$$

$$U = \{u_{i,j}\}_{6 \times 6} = A \times \text{diag}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$$

Рисунок 2 – Параметры схемы кластера, представленного на рисунке 1

Поясним кратко, принцип устройства системы планирования  $H_S$ . Каждый продукт  $r_i, i = \overline{1, h}$  производимый кластером  $S$  характеризуется своей моделью локального планирования  $F_i$ , представляющую собой схему задачи оптимизации. Если в модели  $F_i$  заданы значения ее параметров  $(y_i, u_{i,*}, u_{*,i})$ , то будем говорить о реализации  $\rho_i$  этой модели. Решение задачи оптимизации реализации  $\rho_i$  позволяет получить планируемый объем  $x_i$  производства продукта  $r_i$ . Набор логических выражений  $L = \{L_j(\rho), j = \overline{1, k}\}$  позволяет проверить согласованность реализации любой  $\rho_i$  с другими связанными с ней реализациями. Если все логические выражения для реализации  $\rho_i$  принимают истинное значение, то реализация называется согласованной.

В работе [6] предлагается 3 логических выражения и 6 соответствующих им типов моделей  $F_i$ . Заметим, что в приведенном примере на рисунке 1 приведены все 6 типов таких моделей. При этом каждому типу модели соответствует свой набор логических выражений из  $L$  для проверки согласованности ее реализаций. Сочетание логических значений для реализации  $\rho_i$  определяет ее класс. Общее количество классов реализаций 24, из них 5 являются классами согласованных реализаций. Если реализация относится к одному из классов согласованных реализаций, то будем называть эту реализацию согласованной. При этом, если реализации всех схем  $F_i$  являются согласованными, то план  $X = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_h)^T$  тоже является согласованным и для него справедливо матричное равенство  $X - AX = Y$ . Состоянием системы  $H_S$  называется множество  $P = \{\rho_i, i = \overline{1, h}\}$  реализаций моделей  $F_i$  всех продуктов  $i = \overline{1, h}$ . При этом начальное состояние системы  $P^0 = \{\rho_i^0, i = \overline{1, h}\}$  – это множество реализаций моделей  $F_i \in F$ , построенных над элементами матрицы  $U^0 = A \times \text{diag}\{x_1^0, x_2^0, \dots, x_h^0\}$  и вектором  $Y^0$ , где  $x_i^0$  – элементы вектора  $X^0 = (E - A)^{-1}Y^0$ . Начальное состояние является согласованным.

Последовательность состояний  $P^0, P^1, P^3, \dots, P^w$  называется процессом планирования в системе  $H_S$  с начальным состоянием  $P^0$ , если любое ее состояние  $P^k, k > 0$ , может быть получено из состояния  $P^{k-1}$  применением одного из операторов  $o \in O$  системы  $H_S$ . Переход из состояния  $P^{k-1}$  в состояние  $P^k$  называется шагом планирования. Процесс планирования начинается с согласованного состояния  $P^0$  и завершается новым согласованным состоянием  $P^w$ . Генерация операторов  $o \in O$  осуществляется процедурами  $NSF$ .  $NSF$  представляют поведение и взаимодействие (переговоры, согласование планов) участников кластера вне системы планирования  $H_S$ . Результатом рабо-

ты *NFS* являются последовательности операторов  $o \in O$ , изменяющих текущее состояние плана с целью достижения согласованного конечного состояния  $P^w$ . Решение задач оптимизации реализаций нового согласованного состояния  $P^w = \{\rho_i^w, i = \overline{1, h}\}$ , позволяет получить согласованный план  $X^w = (x_1^w \ x_2^w \ \dots \ x_h^w)^T$ , вычислить новое значение объемов  $Y^w = X^w - AX^w$  продукции для внешних потребителей и объемы продукции  $U^w = A \times \text{diag}\{x_1^w, x_2^w, \dots, x_h^w\}$ , предназначенной для внутрикластерного перемещения и потребления.

**Фасилитация.** Термин «фасилитация» позаимствован из психологии, применяется в управлении проектами и обозначает набор инструментов и практик, позволяющих организовать групповое обсуждение проблемы для достижения консенсуса при выборе способа ее решения. Организатора такого обсуждения обычно называют фасилитатором [7]. Введение нового термина обусловлено тем, что понятия «достижение консенсуса», «алгоритмы достижения консенсуса» в области информационных технологий уже прочно ассоциируются с технологиями блокчейна.

Будем дальше под термином «программная фасилитация» (для краткости будем опускать «программная») подразумевать технологию, воплощенную в виде программного обеспечения и способствующую повышению эффективности принятия совместного решения коллективом людей. Сам программный продукт, представляет собой программный робот и может быть отнесен к классу RPA [8], будем называть программным фасилитатором или просто фасилитатором.

Обратим внимание на последний компонент *NSF* в формальном определении системы планирования (2), обозначающий набор неформализованных процедур, представляющих поведение участников кластера в рамках системы. Назначение *NSF* – сгенерировать последовательность операторов, изменяющих состояние системы планирования, с целью получения в итоге консолидированного валового плана производства продукции. В общем случае процесс построения консолидированного плана является сложной итерационной процедурой, требующей многократного его перерасчета. При этом предполагается, что окончательный план является результатом консенсуса участников кластера, который достигается в результате переговоров и в конечном варианте оформляется в виде соглашений и договоров. На рисунке 4 изображена блок-схема процедуры построения консолидированного плана валового объема продукции промышленного кластера.

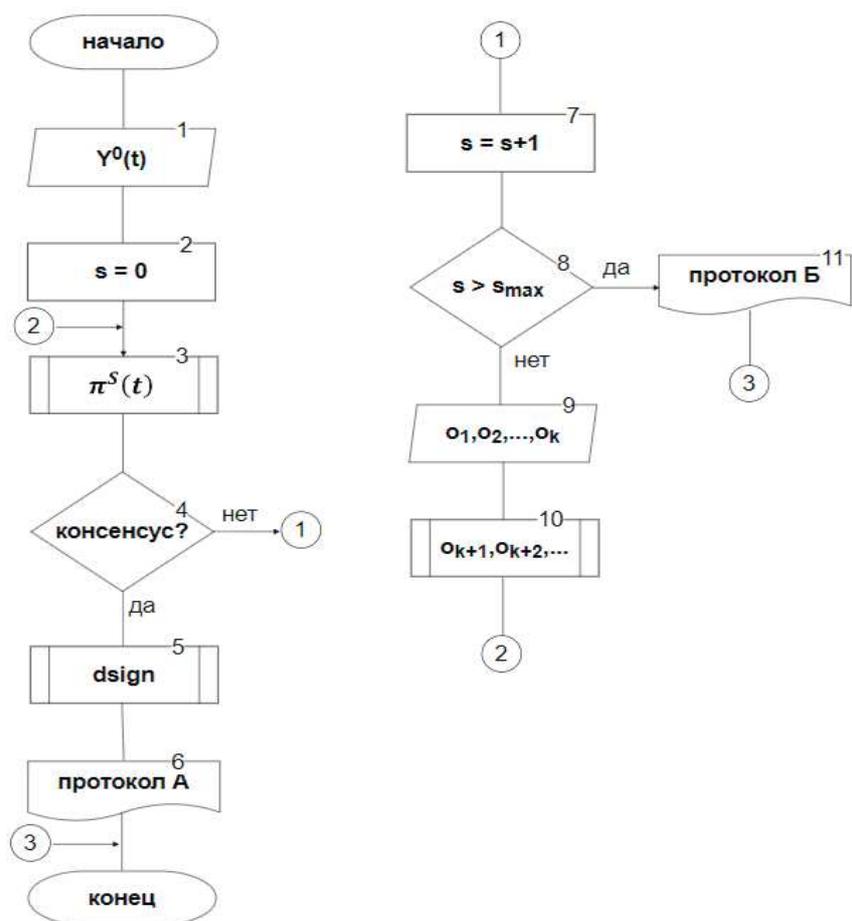


Рисунок 4 – Блок-схема процедуры построения консолидированного плана валового объема продукции промышленного кластера

Построение плана начинается с ввода данных о планируемом объеме продукции  $Y^0(t)$  предназначенном для внешних потребителей (блок 1 на рисунке 4) и расчета начального согласованного плана  $\pi^0(t) = \langle X^0(t), Y^0(t) \rangle$  (блок 3). Если рассчитанный план устраивает всех участников кластера (блок 4), то они подписывают план (блок 5) и этот факт отражается в соответствующем протоколе (блок 6). Если консенсус, при рассмотрении плана, не достигнут (блок 4), то в текущий план  $\pi^s$  заинтересованные участники кластера вносятся изменения (блок 8), которые выражаются в форме последовательности операторов  $o_1, o_1, \dots, o_k$  системы планирования (2). В общем случае эти изменения могут привести план к несогласованному состоянию, поэтому выполняется процедура (блок 10), дополняющая эту последовательность операторами согласующими план. Количество итераций цикла построения консолидированного плана (блоки 3,4, 7-10, 3) ограничивается значением  $s_{max}$ . Если за  $s_{max}$  итераций (блок 8) консенсус не достигнут, то выводится соответствующий протокол (блок 11) и процесс построения консолидированного плана останавливается.

Последний случай, по сути – отказ: процедура не позволяет получить согласованный консолидированный план за отведенное время.

Отметим, что блоки 1, 4 и 9 на рисунке 4 подразумевают участие людей, принимающих решения о начальном значении объема продукции для внешних потребителей, о корректировке текущей версии плана или его утверждении. Более того, все эти решения принимаются за пределами описанной процедуры. Отметим также, что результат работы блока 10, генерирующего дополнительные изменения, в общем случае не является однозначным. Возможны следующие случаи: 1) несколько решений – может быть сгенерировано несколько последовательностей операторов приводящих к разным консолидированным планам, не противоречащим исходной последовательности (блок 9); 2) нет решения – не может быть сгенерирована ни одна последовательность операторов, удовлетворяющая исходной последовательности; 3) заикливание – сгенерированная последовательность может привести к консолидированному плану, который уже был получен в одной из предшествующих итераций.

Процедуру построения консолидированного плана валового объема продукции, блок-схема которой приведена на рисунке 4 будем далее называть процедурой фасилитации консолидированного плана валового объема продукции, а алгоритм, реализующий эту процедуру – алгоритмом фасилитации.

Целью процедуры фасилитации является совместное построение участниками кластера консолидированного плана валового объема продукции промышленного кластера и достижение ими консенсуса при утверждении плана за ограниченное количество итераций.

#### **Заключение.**

1. Организация промышленного кластера не предполагает единого центра управления. Каждый участник кластера преследует собственные цели, которые в общем случае не совпадают или даже противоречат намерениям других участников. Системы, функционирующие в рамках цифровой платформы кластера должны включать процедуры, позволяющие получать согласованные решения.

2. Предложенная концепция программного фасилитатора может послужить основой для разработки системы планирования, центральной компонентой которой будет программный робот, позволяющий повысить эффективность процедуры построения и согласования консолидированного плана.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. И.В. Новикова, В.В. Смелова, Ю.А. Тимофеева, Д.В. Шиман. Концепция цифровой платформы инновационно-промышленного кла-

стера. 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.

2. Новикова, И. В. Клиринговая система взаиморасчетов между участниками инновационно-промышленного кластера / И. В. Новикова, В. В. Смелова, Д. В. Сазонова // Цифровая трансформация. 2023. 29 (3). С. 5–14.

3. Новикова, И. В. Балансовый метод планирования производства продукции инновационно-промышленным кластером / И. В. Новикова, В. В. Смелова, А. Д. Томко // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 5–14.

4. Д.И. Волчек, В.В. Смелова, Д.В. Шиман, В.В. Смелов. Метод и алгоритм декомпозиции по времени плана производства продукции промышленного кластера. Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС: сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2023» в 3 т. Минск, 06–08 декабря 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 1. С. 104-108.

5. Д.И. Волчек, В.В. Смелова, А.В. Якунович, Д.В. Шиман, В.В. Смелов. Метод и алгоритм построения календарного плана производства продукции промышленным кластером при ограниченной производительности его участников. Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС: сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2023» в 3 т. Минск, 06–08 декабря 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 1. С. 562-567.

6. Смелова В.В, Шиман Д.В. Метод построения консолидированного плана валового объема продукции промышленного кластера. Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС: сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2023» в 3 т. Минск, 06–08 декабря 2023 г. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 1. С. 425-430.

7. Seeds for Change. Настольная книга по консенсусу – М.: Радикальная Теория и Практика, 2014. – 248 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.seedsforchange.org.uk/consensus.pdf>. Дата доступа: 24.02.2024.

8. Institute for Robotic Process Automation and Artificial Intelligence. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://irpanetwork.com> (дата обращения: 09.2024)