

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКАЗА ВНУТРИ АССОЦИАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ МНОЖЕСТВЕННЫХ АУКЦИОНОВ

Гасанов И. И.¹
(ФИЦ ИУ РАН, Москва)

Описывается проект системы, заказанной компанией, которая занимается координацией совместного сборочного производства изделий из комплектующих, в изготовлении которых занято большое количество независимых предприятий. Всё производство конечных изделий может быть представлено в виде направленного ациклического графа, в котором для сборки деталей более низкого ранга используются детали, имеющие более высокий ранг. Координация такого производства среди большого множества независимых производителей требует от головного предприятия значительных усилий по согласованию планов, учёта интересов участников, постоянного мониторинга их возможностей. При этом добиться оптимального решения, минимизации затрат не представляется возможным. Была сформулирована задача разработать альтернативный подход к формированию производственного плана, использующий современные идеи распределённых решений на основе сетевых принципов, сходные с организацией взаимодействия внутри блокчейна, когда функционирование системы в целом определяется индивидуальными интересами и действиями её участников. Автором была предложена система взаимодействия внутри ассоциации производителей на основе множественных локальных аукционов, на которых торгуются предложения участников по производству комплектующих, необходимых для выполнения общего заказа. Такой подход имеет свои преимущества, но несёт в себе и определённые риски. В статье даётся общий обзор аукционной схемы и обсуждаются трудности, связанные с её реализацией.

Ключевые слова: аукцион, сетевое взаимодействие, планирование производства.

1. Введение

В настоящее время наблюдается большой интерес к созданию систем с сетевым принципом управления. Это структуры, которые полностью или частично состоят из элементов, обладающих определённой автономией и модифицирующих своё состояние в результате локального взаимодействия с другими

¹ Игорь Искендерович Гасанов, с.н.с. (gasanov48@yandex.ru).

элементами системы. Материальный и информационный обмен между элементами системы интегрируется в отклик системы на внешние воздействия. В результате такого взаимодействия система в целом эволюционирует в полезном её создателям – природе или человеку – направлении.

Сама подобная архитектура сложных систем не является новым изобретением. За ней стоит некоторый фундаментальный принцип организации живой природы, начиная с колоний простейших до сообщества клеток, образующих организмы высших животных. В настоящее время тот же принцип активно внедряется в сферу информационных технологий. Два наиболее ярких примера – это нейросети [1, 4, 6] и блокчейны [5, 8]. В основу данной работы положена переработанная и дополненная статья автора [1], которая в дальнейшем была процитирована авторами статьи [3]. В настоящей работе описывается проект организации взаимодействия между предприятиями, образующими ассоциацию, которая выполняет заказы по производству и сборке некоторого фиксированного набора изделий. Сетевой принцип взаимодействия предлагается использовать на этапе выработки плана исполнения очередного заказа и его распределения внутри ассоциации. Предполагается, что такая форма взаимодействия между участниками ассоциации может быть реализована на базе ещё одной конструкции, активно исследуемой в экономической науке и используемой на практике, аукциона [7, 9, 10].

2. Модель ассоциации

Рассматривается ассоциация предприятий, занимающихся производством и сборкой некоторого фиксированного набора изделий $\widehat{M} = \{m\}_{m=1}^M$, которые будем обозначать просто цифрами. Предприятия, входящие в ассоциацию, будем называть участниками. Обозначим их множество через $\widehat{L} = \{l\}_{l=0}^L$.

Участники – самостоятельные предприятия, производственная деятельность которых не ограничена участием в ассоциации. Участие в ассоциации предоставляет предприятиям дополнительные возможности расширить и упорядочить рынок сбыта продукции. Ассоциация заключает контракты с внешни-

ми заказчиками и выполняет сборку изделий из набора \widehat{M} . Члены ассоциации предлагают свои услуги и принимают на себя обязательства по совместному исполнению этих контрактов.

Будем придерживаться следующих обозначений.

Векторы будем обозначать большими буквами с верхней крышкой, а их компоненты – строчными буквами с индексами, т.е. по шаблону $\overline{R} = (r_1, r_2, \dots, r_N)$.

В процессе выполнения заказа участники осуществляют взаимопоставки своих изделий. Одни изделия используются как комплектующие, необходимые для сборки других изделий. Всё множество поставок по заказу описывается матрицей $Y = (y_n^{i,j})$. У её элементов $y_n^{i,j}$ нижний индекс будет обозначать изделие, первый верхний индекс – поставщика, а второй – получателя изделия.

Обозначим через $\Omega \subset \mathbb{R}^M$ множество векторов продукции $\overline{W} = (w_1, w_2, \dots, w_M)$, в которых компоненты w_m соответствуют количеству (объёму) изделий $m \in \widehat{M}$. Через \overline{w}_m будем записывать вектор $\overline{W} \in \Omega$ с единственной ненулевой компонентой m , равной w_m . Вектор \overline{w}_m , у которого компонента $w_m = 1$, будем обозначать \overline{e}_m . Если $\overline{W} \in \Omega$, то набор изделий, соответствующий его ненулевым компонентам, будем обозначать W .

Часть изделий $m \in \widehat{M}$ собирается из других изделий, производимых внутри или вне ассоциации. Изделию m сопоставим множество $G(m) \subset \widehat{M}$ тех деталей, из которых оно монтируется, и которые производятся внутри ассоциации. Через $\overline{G}(\overline{w}_m) \in \Omega$ обозначим вектор объёмов изделий $G(m)$, необходимых для сборки объёма w_m . В $\overline{G}(\overline{w}_m)$ входят только детали финальной сборки изделия m : если деталь $k \in G(m)$ сама является сборной, то объёмы комплектующих $\overline{G}(\overline{w}_k)$ не входят в компоненты вектора $\overline{G}(\overline{w}_m)$.

Для множества изделий $W \subset \widehat{M}$ через $G(W) \subset \widehat{M}$ обозначим множество тех деталей, которые необходимы для монтажа

изделий из W : $G(W) = \bigcup_{m \in W} G(m)$. Отметим, что в множество $G(W)$ может входить и часть изделий из W , так как одни изделия из набора W могут служить комплектующими для других. Через $\bar{G}(\bar{W}) \subset \Omega$ будем обозначать вектор объёмов комплектующих $G(W)$, необходимых для сборки вектора \bar{W} , т.е. $\bar{G}(\bar{W}) = \sum_{m \in W} \bar{G}(\bar{w}_m)$.

Определение 1. Назовём множество $G(W)$ проекцией множества W , а вектор $\bar{G}(\bar{W})$ – проекцией вектора \bar{W} .

Опишем структуру производства, для которой предназначена, рассматриваемая в статье схема.

В множестве \hat{M} выделяем подмножество изделий \hat{M}^1 . Это те изделия, которые ассоциация производит по внешним заказам или на продажу и которые не используются как комплектующие для производства других изделий из \hat{M} . Этим изделиям припишем ранг 1, $\hat{M}^1 \cap G(\hat{M}^1) = \emptyset$.

Изделия первого ранга монтируется из деталей, составляющих множество $G(\hat{M}^1)$. Припишем ранг 2, таким изделиям из множества $G(\hat{M}^1)$, которые не имеют ранг 1 и используются как комплектующие только для изделий ранга 1. Множество таких изделий обозначим \hat{M}^2 , т.е. $t \in \hat{M}^2$, если $t \in G(\hat{M}^1) \& t \notin G(\hat{M} \setminus \hat{M}^1)$.

Для сборки изделий из множества \hat{M}^2 , в свою очередь, могут понадобиться комплектующие. Припишем ранг 3 таким изделиям из множества $G(\hat{M}^2)$, которые используются в качестве комплектующих только для изделий рангов 1 и 2. Их множество обозначим \hat{M}^3 . В силу определения рангов 1 и 2, изделия из \hat{M}^3 не входят в множества \hat{M}^1 и \hat{M}^2 . Таким образом, $t \in \hat{M}^3$, если $t \in G(\hat{M}^2) \& t \notin G(\hat{M} \setminus (\hat{M}^1 \cup \hat{M}^2))$.

И так далее, пока очередное множество $G(\hat{M}^r)$ не окажется пустым. Понятно, что всего таким образом будет выделено некоторое ограниченное число рангов.

2.1. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Описанную выше структуру производства можно изобразить в виде направленного ациклического графа. Назовём его технологическим графом и обозначим Γ . Узлы графа Γ соответствуют изделиям $t \in \widehat{M}$, обозначим их теми же буквами. Дуги, исходящие из узла $t \in \widehat{M}$ графа Γ , направлены к узлам, сопоставленным изделиям, для сборки которых используются комплектующие t . На нижнем уровне графа Γ находятся узлы, соответствующие изделиям уровня \widehat{M}^1 .

Пример технологического графа приводится на рис. 1. Узлы 1 и 2 – это корень графа, т.е. множество \widehat{M}^1 . К множеству \widehat{M}^2 относятся узлы 3–7 и 13; к множеству \widehat{M}^3 – узлы 8–10 и 11; узлы 12, 13 – к множеству \widehat{M}^4 ; узел 14 – к множеству \widehat{M}^5 . Концевые узлы – это 6, 9, 13, 14.

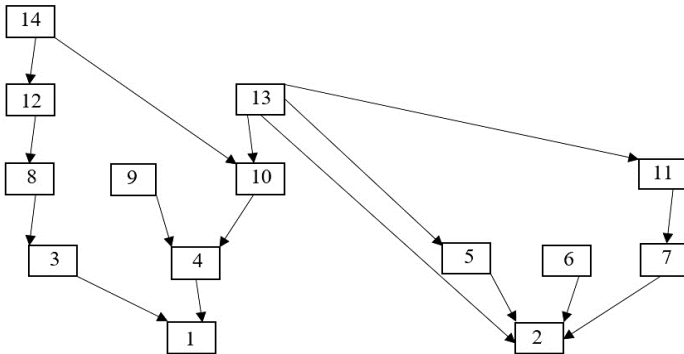


Рис. 1.

Если в графе Γ идёт дуга от узла α к узлу β , то α будем называть прямым предшественником β , а β – прямым потомком α .

Совокупность прямых предшественников множества узлов $W \subset \Gamma$ соответствует множеству $G(W)$, т.е. проекции W . Двигаясь по дугам от узла потомка к узлу предшественнику, мы неизбежно упрёмся в концевые узлы, которые разбросаны по разным множествам $G^n(W)$. Материалы, необходимые для изготовления

изделий, соответствующих этим узлам, закупаются участниками вне ассоциации.

Определение 2. Рангом изделия $m \in \widehat{M}$ назовём длину максимального пути (числа дуг) на технологическом графе от корня графа до узла m плюс 1.

Определение 3. Вес дуги $m' \mapsto m$ – это число деталей m' , которое используется при сборке одного изделия m .

Пусть $\bar{W} \in \Omega$. Компоненты вектора $\bar{G}(\bar{W})$ рассчитываются как сумма произведений компонент вектора \bar{W} на веса дуг:

$$g_k(\bar{W}) = \sum_{m \in M} w_m \cdot h_{m,k},$$

где $h_{m,k}$ – вес дуги $m \mapsto k$

Определение 4. Обозначим через $\bar{H}(\bar{W})$ и назовём полной проекцией вектора $\bar{W} \in \Omega$ вектор деталей $m \in \widehat{M}$ всех уровней, необходимых для сборки \bar{W} . Вектор $\bar{H}(\bar{W})$ – это сумма последовательных проекций $\bar{G}(\bar{W}) + \bar{G}(\bar{G}(\bar{W})) + \bar{G}(\bar{G}(\bar{G}(\bar{W}))) + \dots$

Полная проекция $\bar{H}(\bar{W}) = \sum_{n \in \widehat{M}} \bar{H}(\bar{w}_n)$. Компоненты вектора $\bar{H}(\bar{w}_n)$ нетрудно рассчитать, используя веса дуг на поддереве технологического графа с корнем в узле n .

2.2. УЧАСТНИКИ

Каждый из участников ассоциации производит своё подмножество изделий из набора \widehat{M} . Не вдаваясь в подробности, модель производства участника $l \in \widehat{L}$ можно описать так.

Текущие объёмы ресурсов, которые имеются в распоряжении предприятия l будем записывать в виде вектора $\bar{S}_l = (s'_1, s'_2, \dots, s'_p)$. Задана вектор-функция $\bar{\Psi}'(\bar{W}) : \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^p$, показывающая, сколько ресурсов каждого вида p расходует участник l при производстве вектора продукции \bar{W} .

Пусть компонента ψ'_1 обозначает финансы. Расход ресурса $\psi'_1(\bar{W})$ отражает финансовые издержки предприятия на производство вектора продукции \bar{W} . В $\psi'_1(\bar{W})$ не входит стоимость комплектующих, а только собственные траты участника на

сборку продукции. Предполагается, что стоимость деталей, поставляемых участнику l , войдёт в стоимость его изделий и вернётся поставщикам после выполнения заказа.

Осуществление поставок между предприятиями внутри ассоциации приводит к транспортным расходам. Предполагается, что у каждого предприятия l имеются таблицы

$$T^l = (t_m^{l,j}), m \in \widehat{M},$$

в которых $t_m^{l,j}$ – это цена доставки единицы продукции m от l к j . Эти цены участники добавляют к стоимости своей продукции.

У ассоциации есть выделенный участник – Центр, которому сопоставим номер $l=0$. В рамках рассматриваемой схемы функции Центра – это приём заказов от внешних клиентов, организация и координация аукционов, а также распределение заказов и выручки от их исполнения между изготовителями изделий ранга 1.

3. Задача распределения производства внутри ассоциации

Допустим, Центр принимает заказ на производство изделия $m \in \widehat{M}^1$ в объёме w_m . Производство заказанных изделий, включая изготовление комплектующих, распределяется между участниками ассоциации, и после выполнения заказа готовые изделия m поступают в Центр.

Для реализации заказа должны быть обеспечены поставки комплектующих между участниками, занятыми в его исполнении. Должны выполняться балансовые соотношения:

$$(1) \quad \forall l \in \widehat{L}: \bar{G}(\bar{W}^l) = \sum_{j \in \widehat{L}} \bar{Y}^{j,l},$$

и ресурсные ограничения

$$(2) \quad \forall l \in \widehat{L}: \bar{\Psi}^l(\bar{W}^l) \leq \bar{S}^l,$$

где \bar{W}^l – вектор изделий участника l , а $\bar{Y}^{j,l}$ – вектор поставок от предприятий j к l .

В данной работе не моделируются создание и использование запасов комплектующих. Предполагается, что для производства используются текущие ресурсы предприятий.

Так как ассоциация стремится опередить конкурентов в борьбе за заказы, то она заинтересована в снижении себестоимости своей продукции. Ставится задача минимизировать себестоимость:

$$(3) \sum_{l \in L} \Psi_l \left(\sum_{j \in L} \bar{Y}^{l,j} \right) + \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{j \in L} t_m^{l,j} \cdot y_m^{l,j} \rightarrow \min.$$

4. Обзор аукционной схемы

В настоящее время вычислительные мощности позволяют решать задачи линейного программирования очень большой размерности. Если модель из раздела 3 записана в линейных соотношениях, то можно ожидать, что трудности распределения заказа внутри ассоциации будут связаны не собственно с расчётами, а с созданием очень объёмной модели, объединяющей производство всех участников, и постоянным мониторингом состояния производства на каждом из составляющих ассоциацию предприятий. Для достаточно крупной ассоциации такой централизованный подход может оказаться слишком затратным, если вообще осуществимым. Поэтому возникает потребность в декомпозиции задачи, с тем чтобы большую часть функций по оценке производственных мощностей предприятий и разработке общего плана производства передать самим предприятиям. Идея состоит в том, чтобы план производства вырабатывался как результат множественных аукционов внутри коалиции, на которых предприятия самостоятельно выбирают поставщиков и потребителей продукции. Представляется, что у такой схемы есть ещё одно важное преимущество перед централизованным планированием. Она снимает возможные претензии участников к Центру при распределении заказов между предприятиями, подозрения, что это распределение осуществляется не вполне по экономическим соображениям. При аукционной схеме распределение заданий между участниками может проводиться согласно простым принципам и публично.

Сделаем краткое описание предлагаемой схемы, цель которого дать о ней общее представление и указать на некоторые проблемы, связанные с её реализацией.

Предположим, что Центру поступил заказ на производство некоторого объёма w^* изделия $m \in \tilde{M}^1$. Центру известны технологические графы для всех изделий, производимых внутри ассоциации. Он публикует полученный заказ вместе с его полной проекцией – вектором $\bar{H}(\bar{w}_m^*)$.

Предприятия $l \in \tilde{L}$, получив от Центра общий запрос на производство в виде полной проекции $\bar{H}(\bar{w}_m^*)$ и опираясь на текущие объёмы своих ресурсов \bar{S}^l , формируют собственные планы производства векторов изделий $\bar{W}^l \leq \bar{H}(\bar{w}_m^*)$. После этого они публикуют запросы на поставки комплектующих $\bar{G}(\bar{W}^l)$.

В ответ на запрос предприятия l другие члены ассоциации, исходя из собственных планов на участие в исполнении заказа, публикуют предложения по объёмам и ценам поставок запрошенных деталей. После этого участник l , с учётом объёмов предложенных ему поставок, корректирует исходный вектор \bar{W}^l . Именно эту форму взаимодействия между производителями будем называть аукционом. Это один из вариантов аукциона закрытого типа. Публикации предприятиями запросов на поставки комплектующих – суть объявление аукционов на эти поставки.

Аукцион на поставки комплектующей k для изделия n , производимый участником l , будем обозначать $A_{k,n}^l$.

Обозначим множество предприятий, производящих изделия из набора $W \subset \tilde{M}$, как $L(W)$.

Пусть n – некоторая ненулевая компонента вектора $\bar{H}(\bar{w}_m^*)$, такая что $G(n) \neq \emptyset$. На заказы изделий из множества $G(n)$ должны откликнуться участники $j \in L(G(n))$. Часть своих ресурсов они выделяют для производства комплектующих $G(n)$. Для планирования производства изделий n участнику $l \in L(n)$ необходимо знать, какими объёмами комплектующих $G(n)$ он будет располагать. Для этого необходимо, чтобы завершились аукционы по всем комплектующим $G(n)$. Поэтому аукционы следует проводить в определённом порядке. Этот порядок регулирует Центр, следуя структуре технологического графа.

Определение 5. Положим ранг любого аукциона $A_{k,n}^l$, $k \in G(n)$, $l \in L(n)$, равным рангу изделия n .

Условие 1. Аукционы, у которых ранг выше, всегда предпочитают аукционам с более низким рангом.

В соответствии с определением рангов, комплектующие $G(n)$ всегда имеют более высокий ранг, чем изделие n . Поэтому в силу условия 1 участник l , производящий изделия n , завершив аукционы $A_{k,n}^l$ по изделиям $k \in G(n)$, знает объёмы всех комплектующих, которыми он располагает для производства изделий n . Он может рассчитать доступный ему объём их производства и распределить его по аукционам следующих уровней $A_{n,k}^j$, $n \in G(k)$, $j \in L(k)$.

Замечание. Материалы, не входящие в набор изделий \widehat{M} , могут быть необходимы и закупаться участниками для производства планируемых изделий вне ассоциации. Вообще говоря, вне ассоциации участники могут закупать и какие-то комплектующие, производимые внутри ассоциации. Это схемы не меняет.

Когда нисходящая волна аукционов по комплектующим всех рангов завершается, Центр получает предложения по выпуску продукции t от предприятий, которые являются его конечными сборщиками. Если суммарный объём этих предложений не меньше заказа w^* , то Центр распределяет заказ между этими производителями, т.е. производителями изделия ранга 1. В свою очередь те, получив задание от Центра, распределяют задание на комплектующие ранга 2 между их производителями, согласно их предложениям на прошедших аукционах и т.д.

Проиллюстрируем предлагаемую схему на примере, используя технологический граф на рис. 1.

Пример 1. Предположим, что Центру поступил заказ на производство изделия $1 \in \widehat{M}^1$ в объёме w^* . После того как Центр рассылает участникам вектор комплектующих $\bar{H}(\bar{w}_1^*)$, производители изделий из множеств $L(10)$ и $L(12)$ проводят аукционы на поставки изделий 14. (Отметим, что в этом и других случаях множества L могут пересекаться.) Предложения поставщиков на аукционах – это объёмы и цены поставок с учётом транспорт-

ных расходов. Каждое из предложений ограничено объёмом, объявленным инициатором аукциона до его проведения. Если на каком-то из таких аукционов объёмы предложений в сумме превосходят тот объём, который необходим его организатору, то он делает выбор между поступившими предложениями, отдавая предпочтение более дешёвым вариантам. Собрав пул из предложений по поставкам комплектующих 14, участник из множества $L(12)$ определяет, сколько изделий 12 и по каким ценам он может произвести, не превышая объёма, объявленного им на аукционе. После этого он готов сформировать предложения о поставках комплектующих 12 на аукционах по изделиям 8.

Затем аналогичным образом проводят аукционы участники из множества $L(8)$. Они делают выбор между предложениями по изделиям 12 и формируют собственные предложения для участников из множества $L(3)$.

Одновременно с участниками из $L(8)$ аукционы по комплектующим 13 проводят предприятия из множества $L(10)$. К этому времени у них уже сформированы пулы комплектующих 14. После аукционов по комплектующим 13 они определяют объёмы и цены поставок изделий 10 предприятиям из $L(4)$.

После этого по той же схеме аукционы проводят предприятия из множества $L(3)$ по изделиям 8 и из множества $L(4)$ по изделиям 9 и 10.

Наконец, участниками из $L(1)$ проводятся аукционы по комплектующим 3 и 4. По результатам этих аукционов они рассчитывают, какой объём изделий 1 и по каким ценам они могут произвести, и объявляют результаты Центру. На этом заканчивается нисходящая волна аукционов.

Начинается заключительный этап вёрстки плана по выполнению заказа. Центр распределяет производство изделий 1 между участниками из множества $L(1)$. Назначенные объёмы не должны превосходить предложения участников. Участники из $L(1)$, в соответствии с назначенными объёмами производства, распределяют задание на поставки комплектующих 3 и 4 и т.д. Восходящая волна заданий доходит до концевых узлов, и на этом формирование плана производства завершается.

Если число участников велико и их ресурсы производства значительно превосходят те, что необходимы для исполнения

заказа, то схема представляется эффективной. Однако, как нетрудно убедиться, даже если допустимый план существует, его формирование посредством аукционной схемы не гарантировано.

Пример 2. Предположим, что в ассоциацию помимо Центра входят 4 предприятия (рис. 2). Участники l_1 и l_2 производят изделие 1. Для сборки одного изделия 1 требуются комплектующие 2 и 3, каждое в единичном объёме.

Изделия 2 и 3 производятся участниками l_3 и l_4 , причём из-за ресурсных ограничений каждый из них может изготовить либо одно изделие 2, либо одно изделие 3.

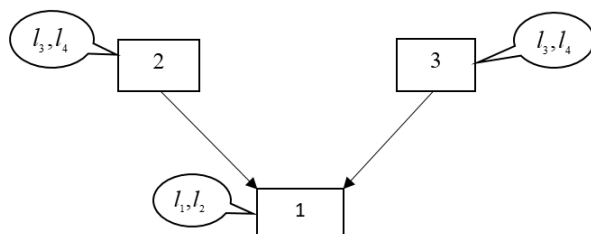


Рис. 2.

Ассоциации заказано изделие 1 в объёме 1. Участники l_1 и l_2 объявляют аукционы на поставку изделий 2 и 3. Участник l_3 решает изготовить комплектующую 2 в объёме 1 и предложить её как на аукционе $A_{2,1}^1$, так и на аукционе $A_{2,1}^2$. При этом он не рискует тем, что не сможет выполнить обязательства, так как согласно объёму заказа на сборку изделия 1 требуемые поставки изделия 2 не могут превысить объём 1. Если участник l_4 решает заняться производством изделия 3 и предложить его на аукционах $A_{3,1}^1$ и $A_{3,1}^2$, то план исполнения заказа может быть сформирован и изделие 1 может быть собрано или участником l_1 , или участником l_2 по выбору Центра.

Однако ничто в условиях примера не препятствует участнику l_4 , как и участнику l_3 , запланировать производство комплектующей 2 и предложить её на аукционы $A_{2,1}^1$ и $A_{2,1}^2$. Тогда

предприятия l_1, l_2 останутся без комплектующей 3 и формирование плана окажется невозможным.

5. Заключение.

Описанная схема представляется достаточно наглядной, но чтобы аукционные предложения участников по поставкам не оказались в противоречии с их исполнимостью, объёмы заказов и предложений на аукционах должны быть определённым образом регламентированы. От того, каких правил будут придерживаться участники при формировании аукционных заявок, зависят шансы на то, что производственный план будет сформирован. Этот и другие вопросы реализации аукционной схемы рассматриваются в следующей статье, в которой будет проведён подробный анализ предлагаемой схемы.

Литература

1. ГАСАНОВ И.И. *Организация аукционов в сетевых моделях* // Материалы конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2021). – М. ИПУ РАН, 2021. – С. 414 – 422.
2. ГУДФЕЛЛОУ Я., БЕНДЖИО И., КУРВИЛЛЬ А. *Глубокое обучение*. – М.: ДМК-пресс, 2018. – 652 с.
3. ЕРЕШКО Ф.И., МУШКОВ А.Ю., ТУРКО Н.И. и др. *Управление в крупномасштабных проектах многоукладной экономики*. // Автоматика и телемеханика. – 2022. – №5. – С. 102–132.
4. ЛЮГЕР ДЖ.Ф. *Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем*. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
5. ПОПШЕР Н. *Цифровое золото. Невероятная история Биткойна или как идеалисты и бизнесмены изобретают деньги заново*. – М., СПб, Киев: Диалектика, 2016. – 368 с.
6. ШОЛЛЕ Ф. *Глубокое обучение на Python*. – СПб.: Питер, 2018. – 400 с.
7. СОНИН Л.И. *Основы теории аукционов* // Вопросы экономики. – 2021. – №1. – С. 5-32.

8. АНТОНОПУЛОС А.М. *Осваиваем биткойн*. – М.: ДМК Пресс 201. – 428 с.
9. KLEMPERER P. *Auction Theory: A Guide to the Literature* // Journal of Economic Surveys. – 1999. – Vol. 13(3). – P. 227–286.
10. KRISHNA V. *Auction theory*. – New York: Elsevier, 2002. – 303 p.

THE PROJECT OF THE ORDER DISTRIBUTION SYSTEM WITHIN THE ASSOCIATION OF MANUFACTURERS THROUGH MULTIPLE AUCTIONS

Igor Gasanov, FRC CSC RAS, Moscow, Senior Researcher (gasanov48@yandex.ru).

Abstract: The paper describes the design of a system ordered by a company that coordinates the joint assembly production of products from components, the manufacture of which employs a large number of independent enterprises. The entire production of end products can be represented as a directed acyclic graph, in which parts of a lower rank are used to assemble parts of a higher rank. Coordination of such production among a large number of independent manufacturers requires significant efforts from the parent company to coordinate plans, take into account the interests of participants, and constantly monitor their capabilities. At the same time, it is not possible to achieve an optimal solution and minimize costs. The task was formulated to develop an alternative approach to the formation of a production plan using modern ideas of distributed solutions based on network principles, similar to the organization of interaction within the blockchain, when the functioning of the system as a whole is determined by the individual interests and actions of its participants. The author proposed a system of interaction within the association of manufacturers based on multiple local auctions, where participants' offers for the production of components necessary to fulfill a common order are traded. This approach has its advantages, but it also carries certain risks. The article provides an overview of the auction scheme and discusses the difficulties associated with its implementation.

Keywords: auction, networking, production planning.

УДК 519.83

ББК 22.18

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии В.Н. Бурковым.*

Поступила в редакцию 17.06.2024.

Опубликована 30.11.2024.