

УДК 65.011.56; 669-1

**М.А. Цуканов, О.А. Божкова**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова  
(филиал НИТУ «МИСиС»), Старый Оскол, Россия

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛА КАНТОРА**

Рассмотрена проблема оперативного управления и технологической координации в металлургической отрасли. Сталеплавильное производство отличается сложной системой связей, представляющей трудности для планирования деятельности предприятия. В рамках оперативного управления производством была выделена подзадача диспетчирования производства, мониторинга нарушения плана и создания корректирующих действий относительно запланированного состояния. Для эффективного решения задачи авторами предлагается подход на основе мультиагентных технологий. В качестве механизма межагентного взаимодействия используются элементы теории детерминированного хаоса. Предполагается, что разработанный метод межагентного взаимодействия позволит решить задачу оптимизации средств и методов моделирования сложной структуры производственных потоков с целью анализа их применимости для моделирования структуры их производств хаоса для увеличения роста производственных показателей.

**Ключевые слова:** мультиагентные технологии, оперативное управление, технологическая координация, фракталы.

**M.A. Tsukanov, O.A. Bozhkova**

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov  
(Branch of National University of Science and Technology "MISiS"),  
Stary Oskol, Russian Federation

## **ALGORITHM DESIGN COMPILING MANUFACTORY SCHEDULE BASED ON FRACTAL CANTOR**

Article discuss the problem of operational control and technological coordination in the metallurgical industry. Steelmaking has a complex system of connections, presents difficulties for business planning. As part of the operational control of the production has been allocated sub-task scheduling production, monitoring violations of the plan and the establishment of corrective action with respect to the planned state. To effectively solve the problem the authors propose an approach based on multi-agent technology. Elements of deterministic chaos theory uses as inter-agent communication action. It is assumed that the method inter-agent communication will allow to solve the optimization problem of means and methods of modeling the complex structure of production flows in order to analyze their applicability for modeling the structure of their industries chaos to increase growth performance.

**Keywords:** multiagent technologies, operative control, technologic coordination, fractal.

## **Введение**

Эффективность технологической координации определяется алгоритмами устранения различного рода рассогласований и отклонений в ходе производства от установленной производственной программы и принятия мер по координации производственного процесса в зависимости от сложившейся организационно-технологической ситуации.

Задача технологической координации в системе управления существенно усложняется для многономенклатурных производств, характеризующихся многообразием оборудования, многовариантностью и параллельным выполнением технологических маршрутов и, как следствие, сложными перекрестными материально-транспортными связями. Задачу технологической координации усложняет совмещение в рамках одного производства непрерывных и дискретных технологических процессов.

Примерами таких производств являются металлургическое, пищевое, фармакологическое, химическое производства, а также сетевые производственные системы.

### **1. Проблемы моделирования сложноструктурированного производства**

#### ***1.1. Трудности задач оперативного управления и технологической координации (ОУ и ТК)***

Трудность задачи ОУ и ТК сложноструктурированных производств обусловлена перекрестными схемами транспортно-технологических потоков, многовариантностью технологических маршрутов (рис. 1), с одной стороны, и дискретно-непрерывным характером производства – с другой. В работах П.И. Литвинцева, С.А. Коновалова, В.В. Зимина, Б.Б. Крейсмана рекомендуется использовать декомпозицию исходной задачи координации на ряд взаимосвязанных подзадач с последующей интеграцией и сопряжением получаемых решений.

#### ***1.2. Методы моделирования производства***

Существует множество решений проблемы моделирования производства, основанных на комбинаторных и эвристических методах оптимизации, методах имитационного моделирования.

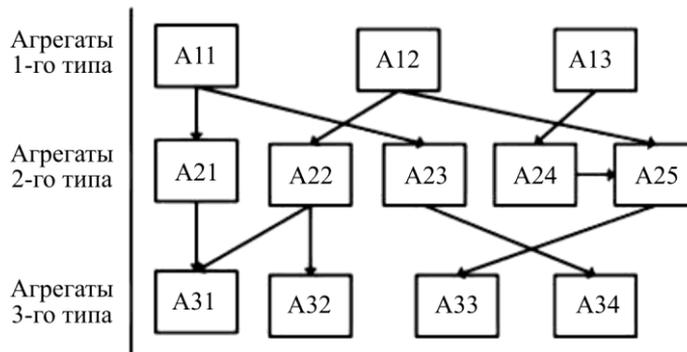


Рис. 1. Структура связей сложноструктурированного производства

Использование данных механизмов для задачи корректировки расписания позволяет определить характер необходимой корректировки – структурная (перестроение всего расписания) или параметрическая (изменение следования ряда агрегатов).

Однако реализация корректировки в режиме реального времени не представляется возможной из-за комбинаторной природы этих методов. Для решения задачи ОУ и ТК существует возможность использования мультиагентных систем. В работе [1] наглядно представлены модели и алгоритмы оптимизации оперативного планирования с использованием имитационного моделирования и методов искусственного интеллекта. Авторы обосновали целесообразность и перспективность разработки СППР оперативного управления и технологической координации сложноструктурированных распределенных производственных систем на основе мультиагентных технологий. Также одним из примеров является работа [2]. Разработанная мультиагентная система технологической координации в системе управления для электросталеплавильного цеха АО «ОЭМК» позволила выявить рост экономической эффективности производства за счет повышения степени координации производственного оборудования при использовании разработанных алгоритмов.

Представленный иммунный алгоритм является эффективным и позволяет быстро составить расписание, проверка диспетчирования осуществляется с помощью сетей Петри. Механизм позволяет определить рассогласование между плановым и фактическим состоянием производства и определить характер корректировки исполняемого расписания.

## **2. Составление и корректировка производственного расписания с использованием фракталов Кантора**

### ***2.1. Описание детерминированного характера системы сталеплавильного производства***

Одной из главных функций оперативного управления является планирование. Оперативное планирование конкретизирует и обеспечивает выполнение заданий, установленных текущим планом. При этом уточняются объем и номенклатура продукции, подлежащей изготовлению в заданный период. Для каждого цеха и его подразделений устанавливаются месячные и декадные графики, производственные программы.

Для моделирования пространственно-временных производственных процессов наиболее подходящей является модель «расписание», которая представляет собой перечень работ, выполняемых в конкретный период по всем объектам производства в подразделении.

Сталеплавильный процесс представляет собой сложную систему взаимосвязей металлургических агрегатов, в ходе которого выделяется или поглощается теплота, достигается или нарушается равновесие протекающих реакций, происходят другие энергетические процессы.

Схема производства позволяет заметить наличие периодического процесса с воспроизводящейся траекторией. После того как система вновь переходит в начальное состояние, процесс повторяется по той же траектории. Следовательно, по параметрам одного из периодов повторения траектории возможно прогнозировать будущее.

Кроме того, система производства является нелинейной и неустойчивой. Представлены сложные траектории, на больших временах система отличается непредсказуемостью поведения (зависимость от начальных условий). Следует отметить, что, нерегулярность происходит из самой системы, а не от внешних факторов (шум, флуктуации). Именно так характеризуется детерминированный хаос.

Для решения существующих проблем необходимо разработать альтернативный вариант иммунному алгоритму межагентного взаимодействия на основе детерминированного хаоса, который позволит на этапе корректировки компенсировать недетерминированные события на основе фрактализации.

Кроме того, решение задачи должно обеспечить минимизацию суммарного времени простоя всех технологических агрегатов, мини-

мизацию пути перемещения кранов (а значит, и времени совершения кранами подъемно-транспортных операций по обслуживанию технологических агрегатов, а также затрат электроэнергии на их осуществление).

## ***2.2. Алгоритм формирования и корректировки расписания на основе фракталов Кантора***

В рамках рассматриваемой задачи был разработан алгоритм формирования и корректировки расписания, который реализует принцип компенсирования элементов детерминированного хаоса в системе производства в процессе оперативного управления [3].

Для рассматриваемого класса производств характерна отдельная обработка этапов заказа на отдельных технологических агрегатах, таким образом, система оперативного управления характеризуется как распределенная организационно-техническая система. Современная мировая практика совершенствования управления в таких системах предлагает использование мультиагентных технологий. Этот алгоритм является основным инструментом работы агента-оптимизатора.

На первом этапе алгоритм предлагает выборку из системы перечня заданий на транспортировку грузов за смену. Каждому конкретному заданию соответствует определенный технологический маршрут с указанным временем начала и окончания всех операций. Согласно правилу составления фрактала Кантора (рис. 2) все задания разбиваются на три группы. Каждая такая группа содержит  $1/3$  часть всех заказов смены. На следующем этапе проверяется общая длительность всех трех разбиений на соответствие времени сменно-суточного интервала. Если время работы превышает сменно-суточную норму, то необходимо детализировать каждый из рассматриваемых интервалов еще на три части и повторить процедуру проверки до тех пор, пока не будет построен оптимальный фрактал.

Далее проверяется ограничение простоев. В реальных условиях возможны несоответствия, которые влияют на ход производства и выполнения плана, в частности на простои. Это поломки оборудования, нарушение нормального протекания технологических процессов, аварии технологических и подъемно-транспортных агрегатов, срывы в поставке сырья, сбои в подаче электроэнергии и энергоносителей, авторитарные решения руководства.

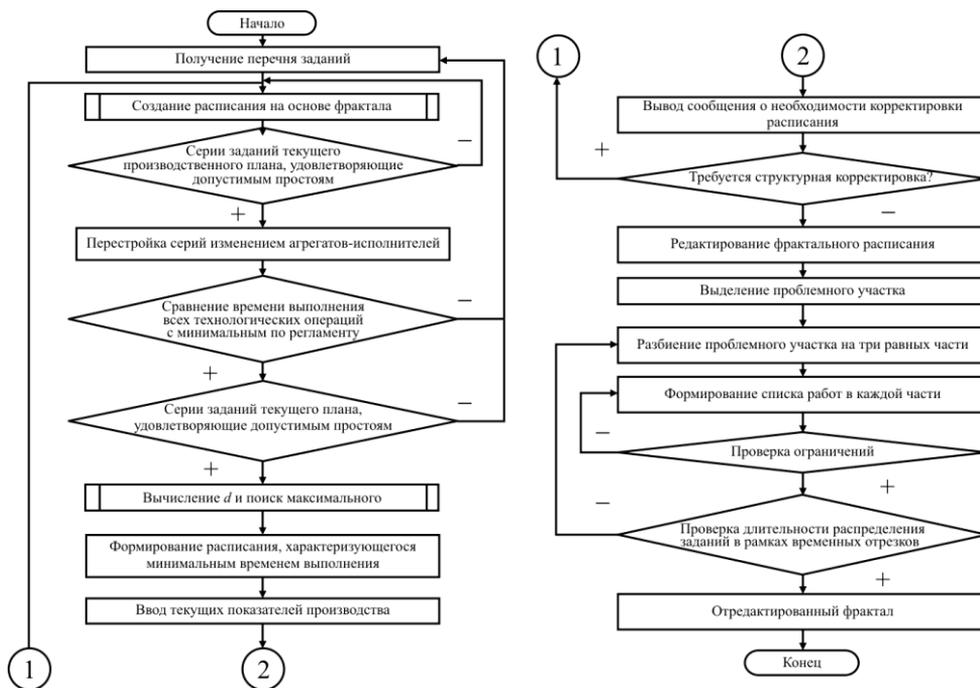


Рис. 2. Алгоритм формирования и корректировки расписания на основе фракталов Кантора

Если серии заказов текущего плана удовлетворяют простоям, то происходит переход к следующему этапу. Пыль Кантора имеет размерность  $d$ . Для максимального использования транспорта необходимо, чтобы выполнялось соотношение  $di \rightarrow 1$ . Однако на практике такое редко наблюдается. С учетом принципов фрактального моделирования и эргономики необходимо определить компромисс, так называемое «золотое сечение», путем экспериментальных методов. Затем формируется расписание, характеризующееся минимальным временем выполнения, и происходит ввод текущих показателей производства.

Если фактические данные не совпадают с планами, предполагается вывод сообщения о необходимости корректировки расписания. При значительных отклонениях в ходе производственного процесса требуется вносить коррективы в поведение системы в целом и отдельных ее элементов. Для этого производится корректировка плана. В зависимости от степени рассогласованности хода производства может потребоваться параметрическая, структурно-параметрическая или полная корректировка расписания. Параметрическая коррекция подразу-

мекает частичную перестройку расписания, т.е. изменение производственного расписания по времени выполнения отдельных технологических операций. При структурно-параметрической корректировке происходят изменение структуры и полная перестройка производственного расписания, т.е. его формирование вновь.

Причинами таких корректировок могут служить внеплановые заказы, нарушение технологии, отключение подачи электроэнергии и другие, в том числе субъективные, причины. Результаты проверки реализуемости расписания выводятся в виде сообщения о необходимости корректировки расписания [3].

Если не требуется структурная корректировка, то на следующем этапе происходит частичное редактирование фрактального расписания. Для этого выделяется проблемный участок и разбивается на три равных части. В каждой из них формируется список работ. Затем каждая часть проверяется на соответствие длительности распределения заданий и ограничения. К таким ограничениям относят отклонение фактического времени выполнения операции с учетом текущей производственной ситуации на конкретном этапе обслуживания заказа от нормативного.

Стоит отметить, что причиной нарастающей рассогласованности планового расписания и фактического графика работы производства может быть переназначение номенклатуры производимой продукции, отклонение фактических производственных показателей от заданных, изменение состава и параметров плановых простоев оборудования с учетом текущего состояния организационно-технологической системы, изменение ограничений материально-технического характера, изменение ритмичности поставки материалов и отгрузки готовой продукции, изменение состава оборудования.

В результате выполнения алгоритма получаем отредактированный фрактал, который представляет собой расписание с учетом удовлетворения всех ограничений в текущей производственной ситуации.

### **Заключение**

Представленный алгоритм создания и корректировки расписания на основе фрактала Кантора позволит решить подзадачу диспетчирования производства, мониторинга нарушения плана и создания корректирующих действий относительно запланированного состояния. Эффектом от

предлагаемой разработки станет сокращение временных издержек при структурной корректировке на построение нового производственного расписания.

### Список литературы

1. Цуканов М.А., Боева Л.М. Мультиагентная система поддержки принятия решений по оперативному планированию и технологической координации сложноструктурированных производственных систем // Управление большими системами: сб. тр. – 2012. – № 39. – С. 254–263.
2. Цуканов М.А. Технологическая координация и управление сложноструктурированными производствами на основе мультиагентных технологий: дис. ... канд. техн. наук. – Старый Оскол, 2012. – 169 с.
3. Божкова О.А. Построение и корректировка производственного расписания // XIV Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов: сб. науч. и науч.-практ. докл. / НИТУ «МИСиС». – Старый Оскол, 2017. – С. 598–601.

### References

1. Tsukanov M.A., Boeva L.M. Mul'tiagentnaja sistema podderzhki prinjatija reshenij po operativnomu planirova-niju i tehnologicheskoj koordinacii slozhnostrukturiro-vannyh proizvodstvennyh sistem – Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov, 2012, no. 39, pp. 254–263.
2. Tsukanov M.A. Tehnologicheskaja koordinacija i upravlenie slozhnostrukturirovannyimi proizvodstvami na osno-ve mul'tiagentnyh tehnologij: dis. kand. tehn. nauk. Staryj Oskol, 2012, 169 p.
3. Bozhkova O.A. Postroenie i korrekcirovka proizvodst-vennogo raspisanija (Chetyrnadcataja Vserossijskaja nauch-no-prakticheskaja konferencija studentov i aspirantov (sbornik nauchnyh i nauchno-prakticheskikh dokladov Vseros-sijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii studentov i aspirantov)). Staryj Oskol: STI NITU «MISiS», 2017, pp. 598–601.

Получено 19.06.2017

### **Сведения об авторах**

**Цуканов Михаил Александрович** (Старый Оскол, Россия) – кандидат технических наук, доцент, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал НИТУ «МИСиС») (e-mail: tsukanov\_m\_a@mail.ru).

**Божкова Олеся Александровна** (Старый Оскол, Россия) – магистрант, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал НИТУ «МИСиС») (e-mail: lesyabozhkova@yandex.ru).

### **About the authors**

**Mikhail A. Tsukanov** (Sary Oskol, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Assistant Professor, Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (Branch of National University of Science and Technology "MISiS") (e-mail: tsukanov\_m\_a@mail.ru).

**Olesia A. Bozhkova** (Sary Oskol, Russian Federation) – Master Student, Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (Branch of National University of Science and Technology "MISiS") (e-mail: lesyabozhkova@yandex.ru).