

УДК 004.896
ББК 30.604

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПЕРАТИВНОМУ ПЛАНИРОВАНИЮ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КООРДИНАЦИИ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Цуканов М. А.¹, Боева Л. М.²

*(Старооскольский технологический институт (филиал)
ФГОУ ВПО «Национальный исследовательский техноло-
гический университет «МИСиС» (СТИ НИТУ МИСиС),
Старый Оскол)*

Обоснована целесообразность и перспективность разработки СППР оперативного управления и технологической координации сложноструктурированных распределенных производственных систем на основе мультиагентных технологий. Представлены модели и алгоритмы оптимизации оперативного планирования с использованием имитационного моделирования и методов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: мультиагентная система, агенты, иммунный алгоритм, сети Петри, агрегат Бусленко.

1. Введение

Основной целью оперативного планирования производства является составление согласованных планов цехов предприятия и обеспечение их выполнения. Оперативное управление выполнением производственных планов осуществляется на основе

¹ Михаил Александрович Цуканов, ассистент (tsukanov_m_a@mail.ru)

² Людмила Михайловна Боева, кандидат технических наук, доцент (boeva@inbox.ru)

технологической координации, заключающейся в согласовании работы технологического оборудования и транспорта, движения материальных потоков, взаимодействия производственного персонала цеха при отклонении фактического хода производства от запланированного [1].

Задача существенно усложняется для производств, характеризующихся широкой номенклатурой выпускаемой продукции, многообразием оборудования, многостадийностью технологических процессов, многовариантностью технологических маршрутов и, как следствие, сложными перекрестными материально-транспортными связями.

Помимо перечисленных трудностей задачу оперативного планирования таких производств усложняет необходимость составления и корректировки производственных графиков в темпе производства.

2. Мультиагентная система оперативного управления и технологической координации

2.1. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ РАСПИСАНИЕ КАК ОСНОВА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Принятой формой разработки оперативных планов на предприятиях является календарное планирование, в основе которого лежит построение месячных графиков производства готовой продукции, детализация их в недельные планы для цехов и дальнейшее их разбиение на сменно-суточные задания (СЗЗ) или графики.

Инструментом текущей реализации СЗЗ и одновременно основой ТК является контактный график (КГ) – производственное расписание, регламентирующее работу основного технологического оборудования по горизонтали и вертикали [2].

Основная проблема ТК заключается в необходимости оперативного принятия решений по вопросам перестроения КГ в связи с рассогласованием текущей производственной ситуации относительно запланированной в темпе производства.

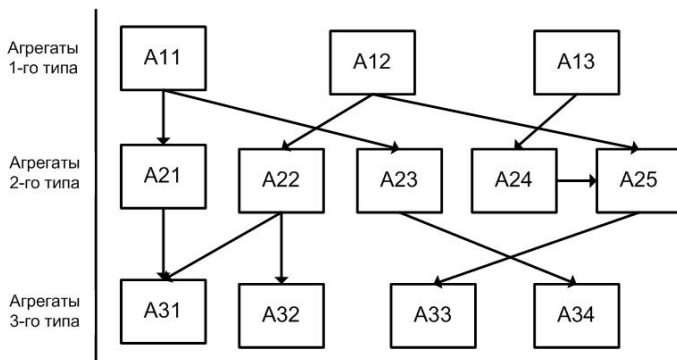


Рис. 1. Структура связей сложноструктурированного производства

Для решения этой проблемы предлагается система поддержки принятия решений (СППР) на основе мультиагентных технологий (МАТ), которая базируется на комплексе моделей и алгоритмов оптимизации производственных планов в режиме *on-line* (рис. 2).

Блок принятия решений концептуальной схемы МАСППР (рис. 2) представлен агентом-оптимизатором и агентом-супервизором, блок анализа проблем – агентом-реализатором, имитационная модель производства – агентами-исполнителями.

Агент-супервизор – интерфейсный агент, решающий задачу взаимодействия агентов МАС и связи с пользователем. Он выдает плановый КГ, отчет по анализу «узких мест» КГ и варианты его корректировки, формирует задания нижестоящим агентам МАС на обработку производственных заказов в соответствии с принятым КГ.

Агент-оптимизатор – гибридный агент, в задачу которого входит построение оптимального КГ на основе правил и ограничений производства.

Агент-реализатор – гибридный агент, который осуществляет проверку сформированного КГ на реализуемость.

Агент-исполнитель – партнерский агент, задачей которого является слежение за работой конкретного технологического агрегата, входящего в реализуемый технологический маршрут.

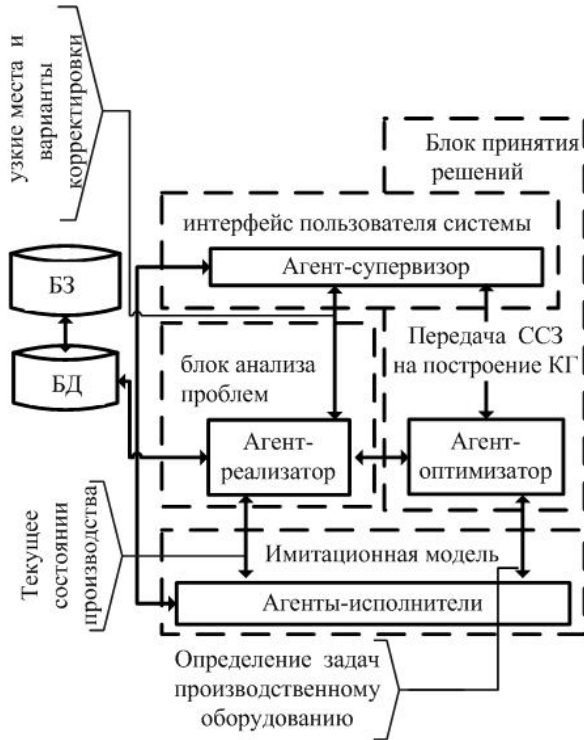


Рис. 2. Структура СППР на основе МАТ

Супервизор на основе информации о готовности агрегатов и их занятости в технологических маршрутах плана корректирует производственную программу и направляет откорректированный КГ агенту-реализатору для проверки возможности его выполнения.

2.2. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ

Задача оптимизации производственного графика цеха относится к классу задач составления расписаний. Наличие нескольких однотипных агрегатов, многовариантность технологических маршрутов, последовательно-параллельные и перекрестные транспортно-технологические потоки определяют эту задачу как

NP-сложную. Время ее решения с использованием комбинаторных и эвристических методов оптимизации и известных методов искусственного интеллекта (генетического алгоритма, алгоритма муравьиных колоний) не удовлетворяет требованиям оперативного, в темпе производства, управления сложноструктурированными производствами.

Для оптимизации контактного графика и внесения в него необходимых корректировок в режиме *on-line* предлагается математический аппарат одной из модификаций алгоритма иммунных сетей (рис. 4), обеспечивающего эффективный параллельный поиск оптимального решения на основе принципа клональной селекции, предложенного Де Кастро [5].

Оптимизация расписания осуществляется путем выбора последовательности технологических маршрутов производства продукции согласно ССЗ, минимизирующей суммарные приведенные потери R_{ij} [3], связанные с переналадкой всех технологических агрегатов при переходе от обработки i -го заказа к $(i + 1)$ -му:

$$(1) \quad F = \sum_i \sum_j R_{ij} \rightarrow \min$$

$$(2) \quad R_{ij} = C_{cp} \cdot \rho_{ij} \cdot \Delta D_{ij},$$

где C_{cp} – средняя себестоимость продукции за смену; ρ_{ij} – производительность j -го технологического агрегата по выпуску i -го заказа; ΔD_{ij} – длительность переналадки j -го технологического агрегата при переходе от обработки i -го заказа к $(i + 1)$ -му.

2.3. ПРОВЕРКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ НА ВОЗМОЖНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ

Алгоритм проверки составленного КГ на реализуемость осуществляется с использованием математического аппарата вложенных сетей Петри, в которой каждая позиция-вершина системной сети представлена как группа оборудования, соответствующая технологическому маршруту КГ [3].

Сеть описывается формально множествами переходов и вершин сети. Функционирование сети задается правилами срабатывания переходов.

Математически сеть описывается коротжем

$$(3) S = \langle P, T, F, \tau_T, C, \{V_S\}, K, M_0 \rangle,$$

где P – множество позиций, представленных моделями отдельных единиц технологического оборудования; T – множество переходов между смежными агрегатами; F – функция инцидентностей позиций и переходов, определяющая для рассматриваемого требования к обслуживанию агрегат-источник и агрегат-исполнитель; C – функция цвета маркера, сигнализирующая о принадлежности перехода к определенному технологическому маршруту; τ_T – модельное время, отнесенное ко всем компонентам сети P, T, F, M_0 ; $\{V_S\}$ – условия выполнения переходов, отнесенных к компонентам сети, входным и выходным позициям; K – емкость маркеров в позициях с учетом C ; M_0 – вектор начальной маркировки, компоненты которого помечают закрытые позиции при поступлении требования на обслуживание.

Срабатывание каждого перехода из множества $T \{t_1, t_2, \dots, t_{11}\}$ определяется наличием сигнала на выходе определенной технологической установки. Возможность осуществления перехода в одну из позиций P определяется с учетом значений параметров сети $F(A_{lk}, A_{(l+1)(k+1)})$, идентифицирующих агрегат-исполнитель следующего требования, и вектора M_0 , компоненты которого помечают закрытые позиции при поступлении требования на обслуживание. Аргументы функции $A_{lk}, A_{(l+1)(k+1)}$ представляют соответственно агрегат-источник и агрегат – приемник требования на обслуживание. Вектор M_0 характеризуется переменной размерностью, которая зависит от этапа обработки и определяет общее число агрегатов-приемников технологического требования. Закрытые позиции помечаются как 0, допустимые как 1.

Объединённые в группы агрегаты имеют соответствующее входное и выходное условие работы (переход), что представлено на сети множеством стрелок. Согласно этим условиям проверяется занятость агрегата на момент поступления требования на обслуживание. В случае успешной проверки, т.е., когда агрегат-

приемник свободен ($p_{lk} = 0$), на время D_Φ ему присваивается значение 1.

В случае если КГ признан невыполнимым, на основе недоступных позиций или неосуществимых переходов базой знаний формируется набор рекомендуемых корректировок с целью устранения узких мест при перепланировке КГ агентом-оптимизатором.

2.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Для моделирования отдельных технологических и транспортных единиц оборудования и звеньев производства предлагается агрегативная модель Н.П. Бусленко [4]. Агрегат A_j (рис. 6) характеризуется набором координат x_m , $l = 1, \dots, M$, которые описывают его состояние: для основных агрегатов – простой, ожидание продукта, операция обработки и передачи, операция ожидания; для агрегатов-накопителей – простой, ожидание продуктов до обработки; для агрегатов – транспортных средств – простой, операция транспортировки, операция ожидания; $z^{(1)}, \dots, z^{(n)}$ – управляющие сигналы; $y_{l-1,k}$ – вход агрегата, поступающий с выхода предыдущего агрегата; $y_{l,k}$ – выход текущего агрегата и вход следующего.

Агрегат реализует алгоритм выходов G_n (окончание обработки на одном агрегате и передача другому) и алгоритм переходов H_n (изменение состояния агрегата в процессе работы). Параметры агрегата β_n характеризуют его работоспособность.

Агрегативные модели оборудования реализуются на нижнем уровне МАС агентами-исполнителями.

Связная агрегативная модель всего технологического процесса цеха представляется партнерской агентной системой (рис. 7).

Ее работа направлена на отслеживание этапов выполнения КГ. Последовательно анализируется возможность каждого из назначенных в КГ агрегатов обработать технологическое задание. В случае возникновения рассогласования планового и фактического расписания агентом-реализатором формируется запрос агенту-оптимизатору на построение нового КГ.

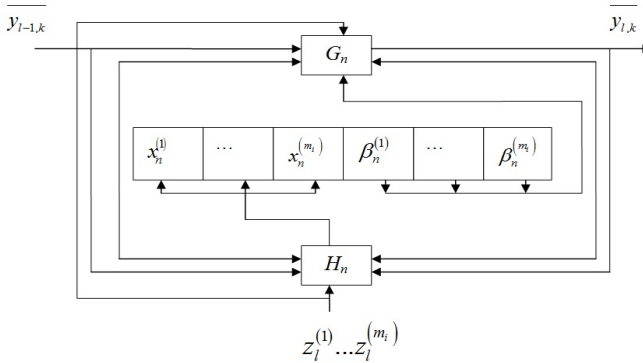


Рис. 6. Схема агрегата Бусленко

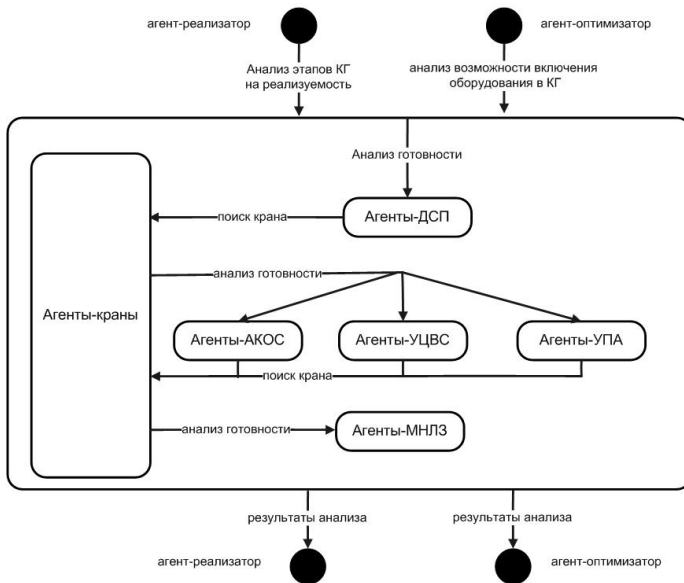


Рис. 7. Структурная схема взаимодействия партнерских агентов (на примере сталеплавильного производства)

2.4. КООРДИНАЦИЯ АГЕНТОВ МАС

Координация агентов в системе осуществляется на основе непрямого взаимодействия, которое соответствует распределению функциональных задач МАС. Агент-супервизор формирует технологическое задание по обслуживанию заказов с учетом изменившейся производственной ситуации, которое в виде входного сообщения поступает агенту-оптимизатору, идентифицирующему состояние производства и определяющему группы агентов-исполнителей. Степень готовности агентов-исполнителей принять задание анализируется агентом-реализатором, который формирует и посылает агенту-супервизору сообщение о возможности выполнения заданий каждым из членов рабочей группы.

3. Заключение

На основе разработанных моделей и алгоритмов возможна реализация интеллектуальной МАС ППР по ОУ и ТК производства, которая отслеживает текущее состояние производства и обеспечивает эффективное выполнение производственной программы.

Литература

1. ЛИТВИНЦЕВ П.И. *Методы организации вычислений в диалоговых системах планирования*: дис. канд. техн. наук. – М.: Выч. центр АН СССР, 1981. – 190 с.
2. ВЕРЕВКИН С.В. *Формирование контактного графика в параллельно-последовательных системах* // Информационные технологии в экономике, промышленности и образовании: Сб. науч. тр. – Кемерово. Изд-во НФИ КемГУ, 2000. – С. 18–24.
3. ЦУКАНОВ М.А., БОЕВА Л.М. *Моделирование технологической координации оборудования сталеплавильного цеха на основе аппарата вложенных сетей Петри* // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2010. – № 2(18). – С. 51–54.
4. БУСЛЕНКО Н.П. *Моделирование сложных систем*. М.: Наука, 1968. – 355 с.

5. DE CASTRO L.N., VON ZUBEN F.J. *The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications* // Proc. GECCO'00, 2000. (http://www.dca.fee.unicamp.br/~vonzuben/research/lnunes_dout/artigos/gecco00.pdf)

**MULTIAGENT SYSTEM OF DECISION SUPPORT FOR
OPERATIONAL CONTROL AND TECHNOLOGICAL
COORDINATION OF DISTRIBUTED MANUFACTURE
WITH COMPLEX STRUCTURE**

Michael Tsoukanov, Oskol institute of technology branch of the “National University of Science and Technology “MISiS”, Stary Oskol, postgraduate (tsukanov_m_a@mail.ru).

Ludmila Boeva, Oskol institute of technology branch of the “National University of Science and Technology “MISiS”, Stary Oskol, Cand.Sc, assistant professor (boeva@inbox.ru).

Abstract: We apply multi-agent approach to design decision-support systems of operational control and technological coordination for distributed manufactures with complex structure. We develop the models and suggest optimization algorithms for operational planning, based on simulation and artificial intelligence methods.

Keywords: multi-agents system, agent, immune algorithm, Petri network, Buslenko unit.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Н. Н. Бахтадзе*