

П. О. СКОБЕЛЕВ

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара

Д. Е. НОВИЧКОВ, С. П. ГРАЧЕВ

Самарский государственный технический университет, Самара

## АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ БАЗ ЗНАНИЙ И МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Планирование текстильного производства является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать большое количество факторов: важность и сроки заказов, загрузка оборудования, особенности технологических процессов крашения и ряд других. В докладе предлагаются принципы построения и реализации интеллектуальной системы управления текстильным производством на основе баз знаний и мультиагентных технологий. Дается постановка задачи планирования и развивается мультиагентный подход к ее решению с использованием базы знаний на основе онтологий для формирования правил управления производством, используемых агентами для составления расписаний. Создана базовая версия системы, которая внедрена на производстве. Показаны и обсуждаются достигнутые результаты. Показываются перспективы развития системы для повышения качества планирования и поэтапной замене труда людей по планированию производства и контролю исполнения планов.*

**Введение.** Планирование текстильного производства является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать большое количество факторов: важность и сроки заказов, загрузка оборудования, особенности технологических процессов крашения и другие [1]. Процесс производства включает этапы: подготовка ткани (суровья), приготовление красителя, крашение, отделка покрашенной ткани и инспекция результатов, настройка, разогрев и охлаждение оборудования, чистки разной продолжительности и т. п.

В ходе управления производством для каждого нового заказа указанные операции должны быть сформированы в связанные цепочки, которые зависят от существования заказа, в общем пуле ресурсов предприятия, причем с учетом планов исполнения уже ранее принятых и запущенных в производство заказов. Планирование производства осуществляется на горизонте 1–4 недели вперед, но при этом необходимо адаптивное, оперативное и гибкое изменение плана вследствие большого потока турбулентно возникающих событий, например, появления новых, срочных заказов, задержек при исполнении плана, выявления брака или выхода оборудования из строя.

**Постановка задачи.** На практике сейчас построение плана производства по каждому заказу обычно происходит на планерках с участием диспетчеров и представителей разных цехов.

Планирование выполняется в ручном режиме с горизонтом планирования в одну неделю.

Можно утверждать, что процесс построения плана – это поиск баланса интересов («консенсуса») между специалистами разных подразделений и в условиях имеющихся у них ограничений и предпочтений, при чем каждый из которых часто старается максимизировать свою целевую функцию, но в конечном счете идет на уступки.

Вместе с тем, в ходе этого процесса могут быть затронуты сразу несколько других, ранее распланированных заказов, а также производственных участков, что сразу многократно усложняет решаемую задачу.

Трудный поиск согласия часто выражается в том, что создаваемый план содержит компромиссы в части преодоления ограничений и допуска отклонения от регламента, что обычно базируется на личных знаниях и опыте диспетчеров, который нигде и никогда не был формализован и нет ни одной инструкции, которая бы содержала выписанные правила о том, как же планируется производство и какие правила можно нарушать, а какие – категорически нет.

Этот процесс, помимо эмпирики в части оптимизации производства, порождает и целый ряд рисков: вероятность нарушения гарантийных обязательств, возможность выхода оборудования из строя, брак при производстве, получение травм рабочими и т. д.

Автоматизированное планирование для управления производством призвано извлечь и обьективизировать эти неформализованные знания из «головы» специалистов-диспетчеров и производственников, сократить сложность и трудоемкость ручного управления, визуализировать и отслеживать указанные риски и снизить вероятность их возникновения за счет применения формализованных правил, регламентирующих производство.

В первом приближении задача такого автоматизированного планирования текстильного производства может состоять в распределении большого набора заказов по заданному набору доступного оборудования и может формулироваться скорее как задача удовлетворения ограничений, чем оптимизации, поскольку еще далеко не все критерии удастся выявить. Каждый заказ описывается набором характеристик: артикул ткани, цвет (гамма, интенсивность), длина, желаемые сроки запуска в производство и выпуска, красители. Оборудование бывает разных типов: линии крашения (периодические и непрерывные), линии подготовки и линии завершения, а также участки инспекции. При этом каждый вид оборудования имеет и свой специфический набор технологических операций. Каждая единица ограничена пропускной способностью и имеет определенное состояние в начале работы, в частности, цвет последнего выполненного заказа и дата последней чистки оборудования [1].

Основная сложность процесса построения плана текстильного производства заключается в том, что набор операций не задан жестко в начале планирования, а формируется динамически, в зависимости от порядка заказов и применяемых правил, а также от назначенного оборудования. Например, при переходе от темного заказа к более светлому необходимо добавление операции чистки; длительность этой операции зависит от гаммы и интенсивности заказа. Аналогичные операции могут возникать при изменении типов красителей, при изменении состава ткани и т.д. Все правила разделяются на несколько видов: правила колористики и проб, правила основных и промежуточных чисток, правила приоритизации заказов и правила маршрутизации.

При этом указанные правила еще и могут конфликтовать между собой, что предложено на первом этапе решать через приоритеты правил, которые сможет задавать технолог.

**Предлагаемое решение.** В работе предлагается построение интеллектуальной системы управления текстильным производством на основе баз знаний и мультиагентных технологий. Мультиагентный подход предлагается для построения расписаний как «устойчивых неравновесий» для контролируемого поиска баланса многих интересов, гибко и быстро адаптируемого по событиям [2]. База знаний на основе онтологий используется не только в узком смысле для построения формализованной модели знаний предметной области в виде семантической сети классов понятий и отношений, но и задания логических правил формирования планов, которые используются агентами для составления расписаний.

При этом у каждой значимой сущности мира текстильного производства появляется специфический автономный программный объект – агент, способный взаимодействовать с другими агентами, а правила планирования описываются в базе знаний, к которой у агентов есть доступ, чтобы в зависимости от ситуации выбрать нужные правила. Все экземпляры сущностей находятся в специально выделенной области – сцене мира предприятия текстильного производства, которая отражает текущее состояние объектов внешнего мира и реализует для агентов функции доступа к данным.

Для создания рассматриваемой системы предложено и реализовано 4 вида классов агентов: агент заказа, агент оборудования, агент правила, агент сцены, их описание приведено в таблице.

Каждый агент имеет свои целевые функции и может обмениваться сообщениями с другими агентами, моделируя процессы аукционно-подобных переговоров на виртуальном рынке.

Разберем процесс таких переговоров на упрощенном примере крашения одного заказа. В таком процессе участвуют агент сцены, агент заказа, оборудования крашения и оборудования приготовления красителя (красковарки). Изначально, агент сцены сортирует заказы в соответствии с их приоритетом на основе правил, заложенных в базу знаний системы. Далее он отправляет последовательные сообщения заказам с командой на запуск планирования. Агент заказа формирует упорядоченный список производственных линий, на которых он может быть выполнен, после чего пробует запланироваться на наиболее предпочтительной линии. Для этого он отправляет сообщение агенту нужного оборудования, который при получении сообщения производит анализ своего уже имеющегося расписания. Если места в расписании нет, то

он может сразу ответить отрицательно или попытаться переместить или даже выместить уже размещенные заказы. После определения возможного временного интервала агент красильного оборудования отправляет сообщение агенту красковарки с целью выяснить возможные дату и время готовности красителя, именно оно будет началом крашения заказа. Агент оборудования отправляет сообщение агенту заказа-инициатора, который может принять полученное расписание или же отменить изменения, если они не подходят по причине слишком позднего завершения заказа, после чего процесс продолжается до наступления состояния, когда ни один агент не может улучшить построенное расписание (достигнуто конкурентное равновесие).

Таблица

Описание базовых классов агентов

Тип агента	Ограничения	Целевые функции
Агент оборудования	Оборудованию необходим резерв времени на планово-предупредительные ремонты, отступления от регламента влекут риски брака заказов и поломки оборудования.	Равномерная загрузка, минимизация простоев
Агент заказа	Большие заказы могут выполняться на разных линиях, но это может увеличить риск брака. Характеристики заказа влияют на его приоритет, при этом высокоприоритетные заказы могут "притянуть" к себе в расписание заказы низкоприоритетные.	Выполнение заказов как можно раньше, расположение в расписании рядом со сходными заказами, выполнение на наиболее подходящем оборудовании
Агент правила	Правила могут быть жесткими (т. е. выполняться всегда) и мягкими (т. е. указывать на пожелания, которые можно обойти).	Выполнение правил как можно строже
Агент сцены	Служебный агент, который координирует деятельность остальных агентов.	Повышение целевых функций всех агентов системы

**Реализация системы.** Предлагаемая система реализуется как «умная надстройка» над уже имеющейся системой IC производства, реализующей учетные функции. Основными сервисами реализованной системы являются сервис взаимодействия с пользователем, сервис базы знаний, сервис планирования и сервис хранения данных в базе данных. Сервис взаимодействия реализует графический интерфейс, встраиваемый в стандартные интерфейсы системы IC и доступный через веб-браузер; сервис базы знаний – хранит понятия и отношения для описания ситуации, а также правила принятия решений; сервис планирования осуществляет построение плана на основании поступивших к нему запросов; сервис базы данных позволяет сохранять найденные расписания и хранить исходные данные и характеристики расписаний.

Взаимодействие сервисов реализовано через REST-API, данные передаются в формате JSON: это позволяет минимизировать трафик и сделать данные более читаемыми, что повышает удобство отладки. У сервиса планирования при таком подходе есть два источника данных: оперативная информация из IC (список заказов, состояние оборудования) и данные из базы знаний (правила планирования). Правила представлены в виде сущностей определенного класса с динамическим набором атрибутов и семантической связью с другими объектами. Динамический набор атрибутов означает, что у сущностей даже одного класса набор атрибутов может различаться, это позволяет менять и создавать правила без внесения изменений в программный код системы. Связь с другими объектами через отношения позволяет упростить агентам поиск по семантической сети, что повышает скорость работы и наглядно визуализировать логику работы агентов и использование ими правил принятия решений.

Выходная информация системы – это построенный план производства, включающий перечень временных интервалов с указанием выбранных технологических операций для каждого заказа и единицы оборудования: от включения и разогрева – до охлаждения и выключения.

В системе сохранена возможность ручной интерактивной корректировки плана пользователем: изменение сроков выполнения заказов или назначение оборудования на заказ, которое реализовано за счёт механизма базовых маршрутов: у каждого заказа может быть желаемое оборудование, которое задаёт пользователь. Если пользователь не указал маршрут, базовый маршрут назначается автоматически на основе статистических данных. Такой подход позволяет учесть историю сложившихся процессов и трудно формализуемые правила, например, если какая-то производственная линия подходит для определённых артикулов и цветов лучше

остальных, а причины этого не установлены или слишком частные, эта линия будет выбрана просто на основе статистики.

**Первые результаты.** Разработанная базовая система была внедрена и позволила значительно снизить время на подготовку плана и его корректировку: построение плана на одну неделю в среднем занимает меньше минуты для примерно 100 заказов. Ручное формирование плана при аналогичном количестве заказов и прочих тех же условиях может занимать у специалистов с опытом до 2 дней. Система стала также новой основой для реализации функциональности моделирования и сценарного анализа «что-если», позволяя тестировать и оценивать эффективность использования различных наборов заказов, оборудования, сырья и красителей, прогнозировать последствия вывода оборудования из работы, например, для проведения планово-предупредительных ремонтов и обслуживания.

**Заключение.** Разработаны принципы построения и реализована базовая версия интеллектуальной системы управления текстильным производством на основе баз знаний и мультиагентных технологий, которая значительно минимизирует человеческий фактор при решении задачи планирования. Использование базы знаний позволяет определять семантику предметной области, которая делает производственные планы реалистичными, даже если они не являются 100% оптимальными в математическом смысле, т. к. удовлетворяется большое число ограничений и находится баланс между разными требованиями. Кроме того, список правил в базе знаний может расширяться с минимальными изменениями в исходном коде системы или вообще без программирования. За счёт такого подхода качество планирования в системе может непрерывно повышаться в процессе эксплуатации за счёт добавления новых выявляемых правил самими диспетчерами, технологами и другими специалистами.

Дальнейшие направления развития системы связаны с подключением новых цехов и построением экономической модели, в которой целевая функция планирования может быть основана на интегральном стоимостном критерии, позволяющем объединить различные факторы: приоритеты заказов, отступления от регламента, перегрузку оборудования и т.д.

*Работа подготовлена на основе материалов научных исследований в рамках Госбюджетной темы Самарского федерального исследовательского центра РАН, Института проблем управления сложными системами РАН № АААА-А19-119030190053-2 «Разработка и исследование методов и средств аналитического конструирования, компьютерного представления знаний, вычислительных алгоритмов и мультиагентных технологий в задачах оптимизации процессов управления сложными системами».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шкробышева В.И., Быков Р.А., Щитова Н.П. Современное оборудование для отделки текстильных материалов. Иваново, Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2008. 80 с.
2. G. Rzevski, P. Skobelev. "Managing complexity", WIT Press, London-Boston, 2014. 216 p.

P.O. Skobelev (Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute for the Control of Complex Systems RAS, Samara), D.E. Novichkov (Samara State Technical University, Samara), S.P. Grachev (Samara State Technical University, Samara).

#### **Development of a Smart System for Textile Fabric Dyeing Based on Knowledge Bases and a Multi-agent Technology**

The planning of textile fabric dyeing production process is a complex problem, that requires to consider a large amount of influencing factors: the importance and timing of orders, equipment loading, features of dyeing technological processes and a number of others. The report proposes the principles of building and implementing an intelligent textile production management system based on knowledge bases and multi-agent technologies. The formulation of the planning problem is given and a multi-agent approach to its solution is developed using a knowledge base based on ontologies to form production control rules used by agents for scheduling. A basic version of the system has been created and implemented in production, the results achieved are shown and discussed. The prospects for the development of the system are shown to improve the quality of planning and to gradually replace the work of people in planning production and monitoring the execution of plans.