

УДК 658.514.4

## **ПЛАНИРОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТАНКОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

**А.А. БОБРЫШЕВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>аспирант кафедры «Экономика и управление предприятием»  
ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»  
г. Москва, Российская Федерация

*Аннотация: Общая производительность производственных систем существенно зависит от сложности продукции, что становится особенно значимым в условиях современного высоко персонализированного рынка. Важность производственного планирования возрастает в процессе принятия решений, связанных с повышенной гибкостью систем. Для решения этой проблемы предлагается механизм оперативно-календарного планирования цеха, построенный на использовании базы конструкторско-технологических решений.*

*Ключевые слова: планирование, менеджмент станкостроения, адаптивное планирование, менеджмент знаний*

## **PLANNING IN MACHINE TOOL MANUFACTURING ENTERPRISES USING A DESIGN AND TECHNOLOGY SOLUTIONS DATABASE**

**A.A. BOBRY SHEV<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Postgraduate student of the Department of «Economics  
and Enterprise Management»  
Moscow State Technological University «STANKIN»  
Moscow, Russian Federation

*Annotation: Overall performance of production systems significantly depends on the complexity of the products, which becomes especially important in the context of today's highly personalized market. The importance of production planning increases in the decision-making process related to enhanced system flexibility. To address this issue, a mechanism*

*of operational-scheduling planning based on the use of a design and technology solutions database is proposed.*

*Keywords: planning, management in machine tools industry, adaptive planning, knowledge management*

## **Введение**

Рост сложности продукции, особенно при производстве сложных изделий на заказ, таких как станки или их компоненты, оказывает существенное влияние на производительность производственных систем. В условиях высокого уровня персонализации и кастомизации решений, оперативно-календарное планирование требуют значительной гибкости.

Современное производство активно использует повторное использование конструкторско-технологических решений, содержащихся в ИТ-системах или в форме неявных человеческих знаний, для повышения эффективности на всех этапах – от проектирования до эксплуатации. В обрабатывающих отраслях повторное использование этих знаний признано ключевым для оптимизации процессов, особенно при проектировании и планировании систем, где до 20% времени инженера затрачивается на поиск и освоение информации. Производственные системы типа «инжиниринг на заказ» особенно зависят от опыта и знаний работников. Несмотря на то, что новые заказы обычно встраиваются в графики на основе эмпирических данных, рост сложности производственных задач и развитие ИТ-систем делают повторное использование базы конструкторско-технологических решений всё более важным для сокращения цикла разработки и повышения производительности. К сожалению, на практике ценные знания часто остаются неформализованными и ограничиваются отдельными операторами или планировщиками.

Для решения этой задачи в данной работе предлагается механизм оперативно-календарного планирования с использованием базы конструкторско-технологических решений. Он ориентирован на планирование ресурсов цеха механической обработки посредством интеллектуального алгоритма, который генерирует и оценивает альтернативные распределения ресурсов.

Механизм основан на извлечении из базы конструкторско-технологических решений информации о реализованных ранее заказах, включая тип обработки и последовательность задач, что позволяет

прогнозировать сроки выполнения новых заказов с учётом накопленного опыта. Таким образом, он обеспечивает возможность своевременной адаптации оперативно-календарного плана цеха и внесения в него соответствующих изменений, учитывая ограничения по приоритетам и доступности ресурсов.

### **Анализ современного состояния**

В литературе термин «планирование производства» определяется как подготовка качественного оптимизированного базового расписания, которое легко составить и поддерживать (предсказуемое планирование). Хотя это верно, в промышленном производстве события в реальном времени, такие как изменение материалов или внезапные ремонты, могут сильно нарушать целостность расписания. Расписания быстро перестают быть оптимальными или реальными, если ответственные за их исполнения команды не действуют динамично для снижения влияния этих событий. Соответственно, для успешного выполнения плана необходима predetermined стратегия адаптивного или динамичного планирования для борьбы с нарушениями, вызванными событиями в реальном времени. Адаптивное планирование – это процесс поглощения последствий реальных событий, анализа текущего состояния расписания и автоматической его корректировки с оптимизированными мерами для предотвращения сбоев и обеспечения устойчивости <sup>1</sup>.

На протяжении многих лет в производственной сфере были предложены различные методы повторного использования знаний, которые поддерживают проектировщиков и инженеров в принятии решений в таких областях, как моделирование, проектирование, прогнозирование, мониторинг и оптимизация. Повторное использование знаний обладает значительным влиянием на производственные процессы, обеспечивая улучшение показателей производительности. Основные подходы к повторному использованию знаний заключаются в использовании: решения из прошлого опыта и метода, применённого для его создания.

Популярным методом искусственного интеллекта, позволяющим эффективно использовать прошлые решения, является метод решения рассуждением по аналогии (Case-Based Reasoning, CBR). Этот метод извлекает предыдущий опыт для решения новых задач, хотя решения из аналогичных случаев могут потребовать адаптации. Успешные подходы в решении проблем сохраняются для

дальнейшего использования. Метод анализирует сходство между прошлым случаем, доступным в репозитории, и новым случаем, опираясь на характеристики или атрибуты задач. На этой основе выбираются наиболее похожие заказы для предоставления рекомендаций.

В 2011 году этот метод был признан инструментом управления знаниями в процессе разработки продуктов, показав способность улучшать навыки решения проблем за счёт использования опыта прошлого. В данной исследовательской работе данный метод применяется благодаря его эффективности в условиях сложных и неструктурированных знаний, а также для обобщения и адаптации знаний к новым случаям.

### **Механизм оперативно-календарного планирования цеха на основе повторного использования конструкторско-технологических решений.**

Можно выделить некоторые предпосылки для формирования требований к адаптивному планированию. Процесс должен иметь возможность, во-первых, выбирать альтернативные ресурсы для различных операций и, во-вторых, допускать переменные компоненты времени пропускной способности в зависимости от условий цеха. В результате адаптивное планирование требует следующих входных данных:

- 1) ожидаемые условия во время запланированного производства: доступность оборудования, сменность и др.
- 2) возможности ресурсов: типы обработки, производительность.
- 3) время выполнения различных операций.

Операции производственных заказов присваиваются доступным ресурсам на первом этапе планирования. Здесь возможности ресурсов сопоставляются с требованиями к продукту. Когда для удовлетворения требований доступно несколько ресурсов, выбор осуществляется на основе заранее определенных критериев (например, кратчайшее время производства или производство с минимальной себестоимостью). Используемые компоненты времени пропускной способности выбираются на основе ожидаемых условий соответствующего цеха во время производства. Таким образом, по сравнению с планированием со статическими основными данными, результаты планирования гораздо лучше соответствуют фактической ситуации на производстве.

Для улучшения сходимости решения предлагается концепт адаптивного планирования, дополненный возможностью повторного использования конструкторско-технологических решений.

В зависимости от требований нового заказа алгоритм подобия извлекает успешно выполненные заказы вместе с набором данных, который включает время обработки, последовательность заданий и задач, а также подходящие ресурсы. Кроме того, алгоритм подобия используется для расчета сроков выполнения заказов на основе знаний, накопленных в прошлых случаях. После этого он адаптирует эти параметры к требованиям нового заказа, чтобы оценить альтернативные расписания и своевременно предложить альтернативные варианты. Успешный опыт производства сохраняется для дальнейшего повторного использования.

Механизм планирования на основе повторного использования конструкторско-технологических решений включает два основных компонента: (1) механизм извлечения и повторного использования конструкторско-технологических решений и (2) механизм краткосрочного планирования (рисунок 1). В рамках первого механизма, при поступлении нового заказа в систему осуществляется декомпозиция компонентов продукта в структуру спецификации. Продукт описывается рядом атрибутов, которые применяются в алгоритме сходства для попарного сравнения атрибутов.

Результатом такого сравнения является ранжированный список прошлых случаев, от наиболее к наименее похожим. Используя накопленные в этих случаях знания, диспетчер может получить информацию, необходимую для интеграции нового заказа в производственную систему. Повторно используемая информация охватывает требуемое количество и тип процесса, количество задач для каждого процесса, ограничения их приоритета, время выполнения каждой операции на конкретных станках, а также сроки выполнения задач.

Выходные данные этого процесса предоставляют необходимые входные данные для механизма планирования. Следует учесть, что детальная информация, такая как выбор режущих инструментов, параметры процессов и установка оборудования, выходит за рамки данной работы.

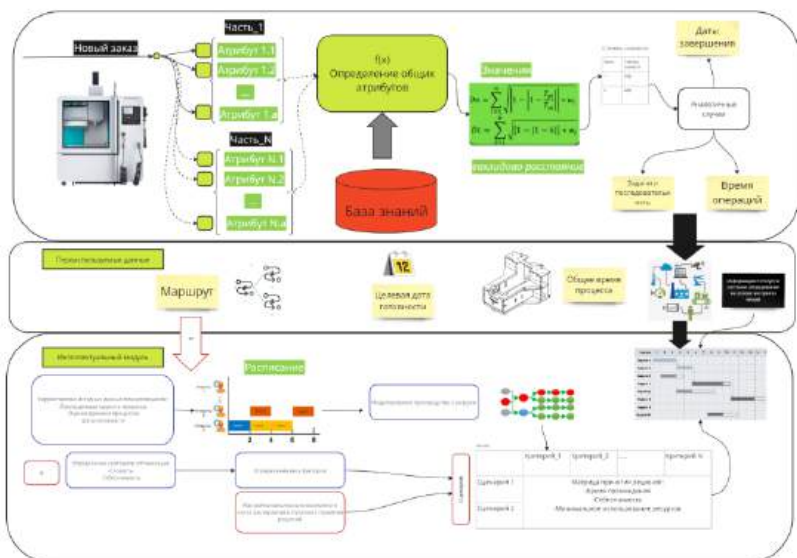


Рисунок 1 – Механизм оперативно-календарного планирования цеха на основе повторного использования конструкторско-технологических решений

Модель представлена цехом, имеющим в своем составе рабочие центры с набором ресурсов. Эти ресурсы представляют собой отдельные станки с различными возможностями обработки, включая технологии обработки, время цикла и эксплуатационные расходы.

Ресурсы не являются параллельными; их доступность определяется текущей нагрузкой системы, с учётом ограничений по ёмкости, приоритетам и доступности. Задачи в рамках работ – это шаги, необходимые для производства каждого компонента станка. Назначение задач ресурсам осуществляется с помощью интеллектуального алгоритма многокритериального поиска, оценивающего альтернативы на основе затрат и времени обработки. Функция оптимума помогает ранжировать и выбирать наиболее эффективные решения.

**Описание механизма повторного использования конструкторско-технологических решений**

Механизм повторного использования начинается с процесса сопоставления нового заказа с архивными случаями для выявления аналогичных сценариев с целью повторного использования их данных. Этот анализ выделяет различия и сходства между ключевыми атрибутами, одинаково характеризующими как старые, так и новые заказы. Основой алгоритма является возможность сравнения между заданиями на основе выделенного набора атрибутов продукта, поступающего в систему как новый заказ. Для каждого нового станка или части определяются технические характеристики продукта: тип, геометрию, назначение, крышку сердечника, материал.

Прошлые случаи извлекаются и сравниваются с помощью методологий сходства. Эти атрибуты варьируются от числовых до буквенно-цифровых значений, которые нормализуются в дискретные значения внутри диапазона [0–1] для повышения точности. Весовые коэффициенты применяются к обоим типам атрибутов для отражения их вклада в реальное сходство между наблюдениями для измерения евклидова расстояния через попарное сравнение атрибутов.

На первом этапе анализируется прошлый случай с наивысшим индексом сходства. Диспетчер может получить информацию о последовательности процессов, приоритетных ограничениях, использованных компонентах и ресурсах, а также сведения о времени обработки и настройках для каждой задачи и ресурса. На основании опыта, инженеры могут оценить, адекватны ли данные для описания данного случая, и при необходимости адаптировать набор данных под требования нового случая.

Если новый продукт требует более разнообразного набора компонентов или процессов, то можно обратиться ко второму или третьему наиболее похожему случаю. Важно, чтобы индекс сходства между случаями всегда оставался выше установленного порога в 60-70%, основанного на исторических данных, иначе информация может оказаться недостоверной. Если данные устарели, потребуются дополнительные адаптации для учёта изменений в производственной среде, таких как внедрение новых технологий или оборудования. В таких случаях инженеры, основываясь на текущем состоянии производства, могут заменить устаревшие ресурсы на новые в технологическом плане. После принятия решения о правильном совпадении с прошлыми случаями извлекаются последовательности задач,

проверяется доступность оборудования и формируется окончательная комбинация последовательности процессов и компонентов.

### **Выводы**

В данной работе рассмотрен механизм повторного использования конструкторско-технологических решений для ускорения технологической подготовки производства для оперативно-календарного планирования и анализа сходства. Используемый индекс сходства, основанный на евклидовом расстоянии, оценивает числовые атрибуты сходства. Процесс планирования осуществляется с помощью интеллектуального алгоритма поиска, который настраивает параметры для поиска эффективных решений. Реальное тестирование на примере из станкостроительного предприятия планируется в рамках работы по диссертации.

Ограничением метода является зависимость от наличия хорошо задокументированных случаев. Небольшое количество частично задокументированных случаев может снизить производительность.

В будущем исследования будут сосредоточены на количественной оценке механизмов повторного использования конструкторско-технологических решений, а также на разработке алгоритма оптимизации расписания. В долгосрочной перспективе предполагается полная интеграция этих механизмов в ежедневную работу станкостроительной компании через разработанное приложение.

Станкостроение должно использовать преимущества постоянно развивающихся технологий, чтобы:

- 1) Оставаться конкурентоспособными
- 2) Быстрее реагировать на запросы клиентов,

За последнее десятилетие цифровые технологии значительно продвинулись вперед, открыв тем самым новые возможности для оптимизации моделирования, проектирования и эксплуатации производственных систем. В нынешнюю эпоху цифровизации необходимо прилагать усилия к разработке решений на основе алгоритмов искусственного интеллекта и повторного использования знаний, которые изменят парадигму умного производства.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Интеллектуальные технологии для планирования / Иоаннис Влахакас, Димитрис Вракас - Idea Group Pub., 2005 – 90 с.

2. Адаптивная поддержка принятия решений для операторов на производственном этапе в автомобильной промышленности / Магнус Холма, Аймар Кордеро Гарсия, Гёран Адамсон и Лихуй Ван - Виндзор, Канада - Procedia CIRP 17 - 440 с.

3. Динамическое время циклов для адаптивного управления производством в автомобильных потоковых цехах / Р. Лепратти, У. Бергер, Т. Кройцнахер, С. Минхас - 2013 XXIV Международная конференция по информационным, коммуникационным и автоматизационным технологиям, Сараево, Босния и Герцеговина.

4. Внедрение качества в системы рассуждений на основе примеров / Игорь Юрисич, Брайан А. Никсон - Advanced Information Systems Engineering, Пиза, Италия – 363 с

#### REFERENCES

1. Intelligent Techniques for Planning/Ioannis Vlahavas, Dimitris Vrakas - Idea Group Pub., 2005 – 90 p.

2. Adaptive decision support for shop-floor operators in automotive industry / Magnus Holma, Aimar Cordero Garciaaa, Göran Adamsona and Lihui Wangb - Windsor, Canada - Procedia CIRP 17- 440 p.

3. Dynamic cycle times for adaptive manufacturing control in automotive flow shops/R. Lepratti; U. Berger; T. Creutzmacher; S. Minhas-2013 XXIV International Conference on Information, Communication and Automation Technologies, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.

4. Building quality into case-based reasoning systems/ Igor Jurisica, Brian A. Nixon- Advanced Information Systems Engineering Pisa, Italy – 363 p.