

ОТЗЫВ **официального оппонента**

доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Электропривода, автоматики и управления в технических системах» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет» Бурковского Виктора Леонидовича на диссертационную работу Вожакова Артема Викторовича на тему: «Бизнес-процессы, модели и интеллектуальная система управления промышленным предприятием в условиях мелкосерийного производства», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности «2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность темы

Тема диссертационной работы Вожакова А.В. ориентирована на системное решение важной народно-хозяйственной проблемы, связанной с повышением качества управления промышленным производством в условиях высокой динамики технологических эволюционных процессов и изменчивости внешних факторов. Основное внимание автором сосредоточено на исследовании содержательных компонентов перспективных цифровых интеллектуальных технологий, внедрении соответствующих программных решений, не зависящих от проблемных вопросов импорта и оптимизации производственных процессов на основе реализации современных средств машинного обучения и искусственного интеллекта. Теоретические результаты работы соответствуют приоритетным направлениям развития российской промышленности.

Таким образом тематика диссертационного исследования, направленная на повышение эффективности технологических процессов в рамках современных производственных систем, а также качества управления в условиях конкретной динамики внешних факторов на базе соответствующих средств обработки сложноструктурированных данных и учета множества ограничений, является актуальной.

Структура диссертации

Результаты исследований изложены в работе в логической последовательности, отличаются целостностью и законченностью.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 397 страницах, содержит 104 рисунка, 37 таблиц, 6 приложений и список литературы из 247 наименований.

Содержание автореферата, в целом, соответствует положениям текста и выводам диссертации.

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных автором в диссертационной работе, обеспечивается корректностью использования автором математического аппарата, численной верификацией разработанных в ходе диссертационного исследования алгоритмов управления, апробацией результатов на модельных и натурных объектах, данными анализа для различных практических ситуаций вариантов применения предложенных моделей и алгоритмов.

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертационной работе, базируются, в том числе на экспериментальных данных. Методы обработки результатов моделирования и экспериментальных данных применены корректно.

Использование на практике комплекса программного обеспечения, построенного с использованием теоретических результатов, полученных автором, несомненно обеспечит необходимое качество и оперативность принятия решений в рамках систем управления сложными производственными системами.

Основное содержание работы

В работе обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи, представлены результаты и основные положения, выносимые на защиту.

Автором подробно проанализированы методологии моделирования бизнес-процессов, автоматизированные системы управления (ERP/MES/APS), практики оптимизации производства (Lean, TOC, QRM), также технологии цифрового производства (PLM/IoT). Данные средства важны для развития предприятий, но интеграция инструментов затруднена их параллельным развитием, что иногда вызывает методологические конфликты. Второй аспект связан с применимостью и специализированностью методологий. Например, бережливое производство подходит для массовых производств, тогда как QRM — для мелкосерийного производства. В связи с этим предлагается исследование производственной системы мелкосерийных заказных производств сложной продукции, где слаба эффективность и длительные циклы. Современные требования включают кастомизацию товаров и готовность к изменчивому спросу, что создает управленческие вызовы. Решение данных проблем требует использования новых инструментов управления, моделирования и лучших средств оптимизации. Исследование в данном направлении реализует универсальность различных методологий и адаптирует их, улучшая теоретическую базу для применения в других контекстах.

В работе раскрыто содержание структуры интеллектуальной системы управления производством, в качестве очередного этапа развития современных систем управления. Синергетический эффект от объединения лучших практик особенно заметен на мелкосерийных машиностроительных предприятиях. Ожидается, что внедрение этой системы повысит эффективность и снизит операционную нагрузку на любом типе производства. Концепция включает передовые технологии и ИИ для оптимизации управления, а также принятия решений и анализа данных. Система

автоматически обеспечивает сбор, анализ и интерпретацию данных, используемых для предсказательной аналитики и машинного обучения. При этом основные принципы базируются на интеграции с ERP, создании системы управления знаниями, интеллектуальных элементов для поддержки принятия решений, открытых интерфейсов и ситуационного центра предприятия. Реализация системы улучшает оперативность и эффективность процессов принятия решений, делает управление более сбалансированным и эффективным. Концепция позволяет развивать автоматизированные системы управления путем включения интеллектуальных элементов и требует минимальных инвестиций на разработку и интеграцию в существующие системы.

В работе предложены математические модели для основных интеллектуальных элементов, которые при интеграции в существующее ERP-решение должны радикально улучшить систему управления предприятием и повысить основные показатели операционной эффективности: модель многокритериальной задачи оптимального календарного планирования производства; задачи синхронизации производственных процессов; задачи оптимального управления производством на оперативном уровне и задачи поддержки принятия коллективных решений.

Подробно автором проведен анализ существующих алгоритмов для решения задач дискретной оптимизации, оценена возможность применения соответствующих методов для решения задач календарного планирования, синхронизации производства, оперативного управления и принятия коллективных решений. В результате проведенного анализа установлено, что для рассматриваемых задач дискретной оптимизации большой размерности применение существующих алгоритмов возможно лишь в частных случаях. Задача принятия коллективных решений решается полным перебором возможных решений, а для решения других типов задач предложены специальные эвристические алгоритмы.

Решение тестовых задач наглядно продемонстрировало, что все реализованные алгоритмы способны находить наилучшие решения, по крайней мере на тестовом наборе данных. Для оценки адекватности работы алгоритмов необходима их апробация в условиях реального производства.

В работе приведено описание результатов практической реализации автоматизированной интеллектуальной системы управления для мелкосерийного производства. В качестве основного ERP-решения предлагается «1С ERP Управление предприятием 2». Использование интеграционной шины данных и микросервисной архитектуры делает систему кроссплатформенной, масштабируемой и отказоустойчивой, позволяя изменять любой компонент в любое время и обеспечивать совместимость с другими платформами и ERP-решениями. Разработка основывается на известных лучших практиках. Итоговое решение соответствует высоким требованиям по масштабируемости, отказоустойчивости и адаптации корпоративных информационных систем. Реализованные инструменты оптимизации, открытые интерфейсы и средства управления знаниями позволили создать оригинальную интеллектуальную систему управления, решающую широкий спектр задач. При этом сформированные алгоритмы, знания и данные могут быть повторно использованы, что повышает общую эффективность системы.

Кроме того, в работе представлены результаты апробации разработанной автоматизированной интеллектуальной системы управления в условиях реального производства. Отмечено, что использование данной системы значительно повышает эффективность, включая:

- повышение выполнения плана "точно в срок" до 98%;
- снижение уровня незавершенного производства на 37%;
- сокращение ошибок при планировании производства на 70%;
- уменьшение операционной нагрузки на планировщиков на 70%;
- увеличение равномерности производства и снижение внеплановых работ на 36%;

- обнаружение и предотвращение нештатных ситуаций, что улучшает качество продукции и снижает затраты на несоответствующую продукцию на 7%.

Практическая реализация разработанной системы интеллектуализации принятия управленческих решений обеспечивает адекватное развитие производственных систем, улучшение качества выпускаемой продукции, снижение затрат и повышение конкурентоспособности соответствующих производств.

Научная новизна

В работе получены следующие основные результаты, отличающиеся научной новизной:

- предложена единая методологическая база построения интеллектуальных систем управления промышленными предприятиями, основанная на результатах системного анализа математических средств организации производства и методов искусственного интеллекта, применительно к решению задач принятия решений;

- разработаны средства решения многокритериальной задачи календарного планирования производства, с учетом ограничений по оборудованию, доступности материалов и персонала в условиях нечеткой исходной информации, а также учитывающие дополнительные ограничения на все виды ресурсов и возможность использования расширенного специального нечеткого множества в рамках обобщенного критерия оптимальности плана производства.

- предложена модификация метода решения задачи синхронизации производственных процессов, с учетом ритмичности выполнения работ и ограничений на уровень незавершенного производства, позволяющая получать результаты, отличающиеся большей универсальностью и расширенным спектром применения на предприятиях, за счет отсутствия требований по изменению производственной логистики;

- разработан алгоритм решения задачи оптимального управления производством в оперативных условиях с использованием базы знаний и нечетких предпочтений при закреплении ресурсов, отличающиеся крайне низкими требованиями к полноте и качеству нормативно-справочной информации о технологии производства изделий, которая необходима для получения рационального решения;

- разработан алгоритм решения задачи поддержки принятия коллективных решений в рамках единой информационной системы предприятия, которые учитывают специфику предметной области и дополнительные ограничения на параметры эффективности производства,

- предложены объектно-ориентированные эвристические алгоритмы решения интеллектуальных задач управления, которые отличаются от известных численных средств оптимизации более высокой скоростью нахождения решений, близких к оптимальным,

Все постановки задач, представленные в рамках диссертационного исследования, обладают достаточной математической строгостью, реализованные методы алгоритмизации корректны, результаты вычислительных экспериментов согласуются с экспериментальными данными.

Практическая ценность результатов диссертационной работы

Практическая значимость полученных в работе результатов подтверждается разработкой алгоритмов и программного обеспечения процессов календарного планирования производства, алгоритмов и программных средств оптимального управления производством в оперативных условиях с использованием базы знаний и нечетких предпочтений при закреплении ресурсов, программного модуля синхронизации производства для 1С ERP, а также апробацией автоматизированной интеллектуальной системы управления промышленным предприятием в реальных условиях мелкосерийного производства .

О практической ценности диссертационного исследования также свидетельствуют результаты реального внедрения интеллектуальной системы управления в промышленность, что подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы и публикации по теме исследования

Основные научные результаты диссертационного исследования достаточно полно представлены в рецензируемых научных журналах из Перечня научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание учёной степени кандидатов и докторов наук, согласно рекомендациям ВАК РФ (12 публикаций). Практическое применение широко освещено в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus: (4 статьи). Общее количество публикаций по теме исследования составляет 41 наименование.

Содержание автореферата диссертации и публикаций достаточно полно отражает результаты проведённого автором научного исследования.

Замечания по работе

1. В тексте диссертации следовало бы привести более содержательные численные данные и результаты расчётов, подтверждающие объективность приведенных в работе показателей эффективности практического использования предложенных автором алгоритмических средств.

2. Реализованные в тексте термины «значительно» и «существенно» не имеют точного количественного выражения, что затрудняет в полной мере осуществить оценку уровня качества научных и практических результатов работы.

3. В тексте диссертации недостаточно конкретизированы реализованные математические методы, использованные в рамках интеллектуальной системы управления, что затрудняет воспроизведение и проверку полученных результатов,

4. Как следует из текста диссертации предлагаемая интеллектуальная система принятия решений эффективна в условиях систем управления мелкосерийными машиностроительными предприятиями, при этом отсутствие формальных характеристик этих предприятий ограничивает возможность оценки применимости результатов работы в рамках альтернативных типов производств.

5. В тексте диссертации обнаружены стилистические погрешности, хотя в целом стиль изложения производит благоприятное впечатление.

Однако отмеченные замечания имеют частный характер и не снижают общей положительной оценки проведённого автором исследования. Считаю, что диссертационная работа Вожакова А.В. вносит определенный вклад в развитие теоретических основ, а также практику разработки интеллектуальных систем управления промышленными предприятиями, массовая реализация которых ожидается в ближайшее время.

Заключительная оценка

Диссертационная работа Вожакова Артема Викторовича представляет собой завершённое научное исследование, в котором представлено новое решение важной проблемы автоматизации современных производственных систем, связанной с развитием средств поддержки процессов принятия решений и повышением эффективности управления мелкосерийным производством, за счет разработки единой методологической базы разработки и практической реализации интеллектуальных систем управления на основе использования теоретических средств создания автоматизированных систем управления, моделирования бизнес-процессов и современных методов построения и оптимизации производственных процессов.

В целом, диссертационная работа Вожакова А.В. полностью соответствует критериям положения ВАК (п.п. 9, 10, 11, 13, 14) о порядке присуждения учёных степеней, а Вожаков А.В. заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой
электропривода, автоматики и
управления в технических
системах
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», доктор
технических наук, профессор


Бурковский Виктор Леонидович

«4» 09 2024г.

Подпись _____ Бурковского В.Л. удостоверяю

Сведения о лице, подписавшем отзыв:

Бурковский Виктор Леонидович;

Специальность: 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям);

Организация: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»;

Должность; профессор, заведующий кафедрой;

Почтовый адрес организации: 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84;

Сайт организации: [www/vorstu.ru](http://www.vorstu.ru).

Контактный телефон: +7(473)273-77-20;

e-mail^ bvl@vorstu.ru

