

## **ОТЗЫВ** **официального оппонента**

доктора технических наук, доцента, профессора кафедры автоматизированных систем управления Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» Сараева Павла Викторовича 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**

Диссертация Вожакова А.В., представленная к защите, представляет собой системное решение важной хозяйственной задачи по совершенствованию управления промышленным производством в условиях стремительно развивающихся технологий и изменяющихся внешних факторов. Исследование фокусируется на перспективных цифровых интеллектуальных технологиях, внедрении программного обеспечения (ПО), не зависящего от иностранных поставок, и оптимизации производственных процессов с использованием методов искусственного интеллекта (ИИ). Результаты работы ориентированы на ключевые направления развития российской промышленности, что может привести к улучшению эффективности производственных процессов путем анализа данных и учета различных ограничений.

Работа включает введение, шесть разделов, заключение, библиографический список и приложения. Основной целью исследования является разработка теоретических способов поддержки принятия решений и повышение эффективности управления мелкосерийным производством путем создания концепции и практической реализации интеллектуальной системы управления на основе опыта разработки автоматизированных систем управления, моделирования бизнес-процессов и оптимизации производственных процессов.

Для достижения этой цели были определены и решены следующие основные задачи:

- систематизирован мировой опыт управления современным производственным предприятием в условиях быстроменяющейся конъюнктуры рынка продукции, изучены подходы к разрешению проблем управления сложными производственными объектами;
- разработана концепция интеллектуальной системы управления мелкосерийным производством с использованием существующих



информационных систем и лучших практик управления производственными системами;

- определены основные задачи, решаемые в рамках интеллектуальной системы управления производством;
- разработаны эффективные механизмы и алгоритмы решения интеллектуальных задач управления с применением методов математического и имитационного моделирования, основанных на знаниях и нечеткой логике;
- реализована и апробирована на практике интеллектуальная система управления промышленным предприятием в условиях мелкосерийного производства.

### **Оценка содержания работы**

Диссертация А.В. Вожакова состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений.

**Во введении** приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** рассматриваются методологии моделирования бизнес-процессов, автоматизированные системы управления (ERP/MES/APS), практики оптимизации производства (Lean, TOC, QRM) и технологии цифрового производства (PLM/IoT). Эти подходы важны для развития предприятий, но их интеграция осложнена параллельным развитием, что иногда вызывает методологические конфликты. Поэтому исследуются применимость и специализированность методологий для различных производств. Основное внимание уделяется изучению производственной системе мелкосерийных заказных производств сложной продукции, где эффективность невысока и циклы длинные. Отмечается, что современные требования включают кастомизацию товаров и способность предприятия адаптироваться к изменчивому спросу, что создает новые управленческие задачи. Для их решения нужны современные инструменты управления, автоматизированные системы, моделирование и лучшие практики оптимизации. Проведенное исследование демонстрирует универсальность различных методологий и адаптирует их, улучшая теоретическую базу для применения в разных контекстах.

**Вторая глава** описывает концепцию интеллектуальной системы управления производством на следующем этапе развития предприятия. Показано, что синергия от объединения лучших практик особенно эффективна на мелкосерийных машиностроительных предприятиях. Ожидается, что эта система повысит эффективность и уменьшит операционную нагрузку на различных типах производства. Концепция включает передовые технологии и методы ИИ для оптимизации управления, поддержки принятия решений и анализа данных. Система автоматически собирает, анализирует и интерпретирует данные, применяя



предсказательную аналитику и машинное обучение. Основные принципы включают интеграцию с ERP, создание системы управления знаниями, интеллектуальные элементы для поддержки управленческих решений, открытые интерфейсы и ситуационный центр предприятия. Внедрение системы делает решения более оперативными и эффективными, улучшая баланс управления. Предложенная концепция позволяет развивать автоматизированные системы управления с интеллектуальными элементами, требуя минимальных инвестиций на разработку и интеграцию в существующие системы.

**В третьей главе** представлены математические модели для ключевых интеллектуальных элементов, которые интегрируются в ERP-систему для радикального улучшения управления предприятием и повышения его операционной эффективности. Разработан ряд моделей для реализации интеллектуальной системы управления, включая многокритериальную модель оптимального календарного планирования, модель синхронизации производственных процессов, модель оптимального управления на оперативном уровне и модель поддержки коллективных решений.

**В четвертой главе** анализируются существующие алгоритмы для решения задач дискретной оптимизации и оценивается их применимость к задачам календарного планирования, синхронизации производства, оперативного управления и поддержки коллективных решений. Выявлено, что для многопараметрических задач дискретной оптимизации большой размерности известные алгоритмы применимы только в частных случаях. Для задачи поддержки коллективных решений в рамках алгоритма прямого вывода используется полный перебор правил, а для остальных задач разработаны специальные эвристические алгоритмы, позволяющие получать близкие к наилучшему решения за приемлемое время. Глава подробно описывает предложенные эвристические алгоритмы и возможности их применения. Решение тестовых задач продемонстрировало, что алгоритмы находят наилучшие решения на тестовом наборе данных. Для подтверждения их эффективности в общем случае необходима практическая реализация интеллектуальных элементов и апробация алгоритмов в условиях различных реальных производств.

**Пятая глава** описывает практическую реализацию 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 современных лучших практиках. Итоговое решение соответствует высоким требованиям по масштабируемости, отказоустойчивости и адаптации корпоративных информационных систем. Реализованные инструменты оптимизации,



открытые интерфейсы и управления знаниями создали уникальную интеллектуальную систему управления, решающую широкий спектр задач. Алгоритмы, знания и данные могут быть повторно использованы, что повышает общую эффективность системы.

**Шестая глава** представляет результаты апробации разработанной автоматизированной интеллектуальной системы управления в реальном производстве. Отмечено, что использование данной системы значительно повышает эффективность, включая: повышение выполнения плана "точно в срок"; снижение уровня незавершенного производства; сокращение ошибок при планировании производства; уменьшение операционной нагрузки на планировщиков; увеличение равномерности производства и снижение внеплановых работ, а также обнаружение и предотвращение нарушений, что улучшает качество продукции и снижает затраты на несоответствующую продукцию в среднем на 7%.

Внедрение системы способствует развитию производства, улучшению качества продукции, снижению затрат и повышению конкурентоспособности компании. Также следует отметить, что все предложенные в работе математические модели и формулы являются корректными. Выводы и результаты исследования подтверждают, что автором было проведено комплексное и завершённое научное исследование, которое обладает новизной и практической значимостью. Как выводы по отдельным главам, так и общие выводы по работе логичны и обоснованы.

### **Научная новизна, достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования**

Диссертационное исследование выполнено на высоком научно-техническом уровне. В работе обоснована необходимость разработки новых управленческих инструментов для производства, не ограниченных системами предыдущих поколений. Такие системы должны обеспечивать гибкую и эффективную работу производства в условиях постоянных изменений в портфеле заказов, изменчивой производственной обстановки и недостаточной информации. Можно выделить следующие положения и результаты данного исследования, обладающие значительной научной новизной, а именно:

- новая концепция интеллектуальной системы управления промышленным предприятием, учитывающая лучшие практики организации производства и применение методов ИИ при решении задач управления и поддержки принятия решений;
- новая постановка и метод решения многокритериальной задачи календарного планирования производства, учитывающие ограничения на все виды ресурсов и использование расширенного специального нечеткого множества для построения обобщенного критерия оптимальности плана производства;



- новая постановка и метод решения задачи синхронизации производственных процессов с учетом ритмичности выполнения работ и ограничений на уровень незавершенного производства, которые отличаются от частного решения теории быстро реагирующего производства большей универсальностью и расширенным спектром применения на предприятиях за счет отсутствия требований по изменению производственной логистики;
- новая постановка и алгоритм решения задачи оптимального управления производством на оперативном уровне 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;
- новая постановка и алгоритм задачи поддержки принятия коллективных решений в рамках единой информационной системы предприятия, которые учитывают специфику предметной области и дополнительные ограничения на параметры эффективности производства;
- узкоспециализированные эвристические алгоритмы решения интеллектуальных задач управления, которые отличаются от известных численных методов оптимизации более высокой скоростью нахождения близких к оптимальным решений.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов диссертации обеспечены корректным применением теории управления организационными системами, системного анализа и методов математической оптимизации. Все задачи в рамках исследования имеют достаточную строгость, методы моделирования правильны, а результаты экспериментов на модельных примерах соответствуют практическим решениям. Исследование прошло апробацию на российских и международных научных конференциях, и семинарах, а все выдвигаемые на защиту результаты опубликованы.

### **Практическая ценность диссертационной работы**

Практическая ценность результатов состоит в создании алгоритмов и ПО для календарного планирования и имитационной модели синхронизированного производства, а также для оптимального оперативного управления с использованием базы знаний и нечетких предпочтений при распределении ресурсов. Разработан программный модуль синхронизации производства для 1С ERP и апробирована автоматизированная интеллектуальная система управления на реальных предприятиях мелкосерийного производства. Внедрение этой системы повысило эффективность процессов, стабилизировало работу и укрепило рыночные позиции предприятий. Результаты подтверждены актами внедрения.



Представленные в Приложении заключение о практическом применении научных положений и разработок подтверждают применимость на практике предложенных в диссертации методов и подходов.

### **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: всего 4 статьи. Кроме статей в ведущих журналах результаты диссертации представлены в 2-х монографиях. Общее количество публикаций по теме исследования составляет 41.

Содержание автореферата диссертации достаточно полно отражает проведённое автором научное исследование.

### **Замечания**

1. В исследовании много внимания уделяется работе с экспертной информацией в условиях автоматизированного производства. В работе отсутствует анализ методов извлечения знаний из множества данных о производстве.

2. В главе 2 представлено определение математической модели с открытым интерфейсом как универсальная математическая модель. Считаю, что использование термина «универсальность» не уместно.

3. Работа посвящена исследованию системы управления в условиях мелкосерийного производства. В предложенных моделях и алгоритмах явно это не указано, как они учитывают мелкосерийный характер и почему не будут работать для крупномасштабных производств.

4. В работе недостаточно раскрыта методика апробации автоматизированной интеллектуальной системы управления на реальных производствах. Вызывает сложность понимание того, как конкретно полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности конкретного предприятия.

5. Отсутствие конкретных числовых показателей эффективности внедренной системы в денежном выражении усложняет анализ полезности предложенных автором решений.

Данные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки проведенного автором исследования. Считаю, что диссертационная работа Вожакова А.В. вносит значительный научный вклад в теорию и практику разработки интеллектуальных систем управления промышленными предприятиями, широкое распространение которых ожидается в ближайшие годы.

## Общий вывод

Диссертационная работа Вожакова А.В. является завершённым научным исследованием, в котором представлено решение важной задачи – поддержки принятия решений и повышения эффективности управления мелкосерийным производством. Это достигнуто за счёт разработки концепции и практической реализации интеллектуальной системы управления с использованием опыта создания автоматизированных систем управления, моделирования бизнес-процессов и лучших практик 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 Артем Викторович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Профессор кафедры  
автоматизированных систем  
управления ФГБОУ ВО  
«Липецкий государственный  
технический университет»,  
доктор технических наук,  
доцент



Сараев Павел Викторович

«02» 09 2024г.

Научная специальность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет»

Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30

Телефон: +7 (4742)-32-80-45

E-mail: saraev\_pv@stu.lipetsk.ru

Подпись П.В.Са

ю



*Handwritten signature*  
02.09.2024