

## ОТЗЫВ

официального оппонента Доррера Михаила Георгиевича  
на диссертационную работу Русских Полины Андреевны  
«Автоматизированная система планирования монтажно-сборочных  
процессов производства радиоэлектронной аппаратуры», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и  
производствами

### Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа демонстрирует глубокое понимание текущих проблем в производстве радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и четко аргументирует необходимость исследований в выбранном направлении. Рынок требует гибкости и быстрой адаптации к индивидуальным заказам, что создает огромную нагрузку на производственное планирование и управление и автор точно указывает на эту тенденцию. Управление большим количеством разнообразных заказов, особенно в условиях динамичного производства, становится крайне сложной задачей. Автор четко фокусируется на оперативном планировании, понимая его ключевую роль в эффективности монтажно-сборочных процессов (МСП). Оперативное планирование непосредственно влияет на ритмичность производства, сроки выполнения заказов и использование ресурсов. Выделение МСП как объекта исследования логично, так как это одна из ключевых и трудоемких стадий производства РЭА., в свою очередь эффективность МСП, находящихся на критическом пути выпуска партии изделий, напрямую влияет на общую производительность и время выпуска партии. В работе обоснованно отмечается слабость традиционных подходов, указывается на невозможность эффективно применять в условиях динамично меняющейся обстановке на рынке статичные методы планирования, не способные адаптироваться к изменениям и становящиеся неэффективными в современных условиях. Разработка и внедрение методов автоматизации планирования монтажно-сборочных процессов является стратегически важным направлением для повышения конкурентоспособности современных предприятий, занятых производством высокотехнологичной машиностроительной, радиоэлектронной и подобной им по характеру производства продукции. Применение подобных методов позволяет решить ряд ключевых задач, связанных с повышением эффективности, снижением издержек, улучшением качества, оптимизацией использования ресурсов и обеспечением гибкости производства в условиях быстро меняющегося рынка. Актуальность этой темы **будет только возрастать** в будущем, по мере дальнейшего усложнения продукции, развития цифровых технологий и усиления конкуренции на глобальных рынках. Следует отметить не только практическую, но и научную значимость работы. Управление потоками работ в условиях ресурсных ограничений (Resource-Constrained Project Scheduling Problem , RCPSP) вызывает существенный интерес у наиболее передовых исследователей в этой области

(можно упомянуть работы ван дер Аалста, Рейерса, Белабауи, а также вышедшие уже в 20-е годы работы Пеллерина и Петерса) и до сих пор далека от окончательного разрешения в силу сложности и многоаспектности задачи, существенной связанности постановки со спецификой исследуемого объекта.

### **Структура диссертации**

Диссертационная работа посвящена разработке и внедрению практически значимой автоматизированной системы, направленной на кардинальное повышение эффективности монтажно-сборочных процессов (МСП) в производстве радиоэлектронной аппаратуры. В условиях современной высокотехнологичной промышленности, где точность и скорость производства критически важны, предложенная система представляет собой актуальное и востребованное решение. Научное содержание работы посвящено развитию методов управления дискретными производственными системами, внося вклад в подходы к интеграции методов мониторинга процессов с оценкой решений по управлению ими с помощью имитационных моделей.

Работа, подробно изложенная на 175 страницах и подкреплённая солидным списком литературы из 118 источников, демонстрирует тщательный и глубокий подход к решению проблемы. Структура диссертации, включающая введение, четыре главы, заключение и приложения, логически выстроена и обеспечивает четкое понимание сути исследования и его результатов. Автореферат, отличающийся ясностью и лаконичностью изложения, позволяет быстро оценить практическую ценность предложенной разработки.

Ключевая цель диссертации – не просто теоретическое исследование, а создание реально работающего инструмента для повышения эффективности МСП. Автоматизация оперативного планирования и управления направлена на устранение «узких мест» в производственных процессах, снижение временных и ресурсных затрат, и, как следствие, повышение конкурентоспособности предприятия.

В первой главе представлен углубленный анализ специфики монтажно-сборочного производства (МСП) позаказного типа как объекта исследования. Систематизированы существующие методы планирования и управления производственными процессами, идентифицированы ключевые ограничения, обусловленные дискретным характером и высокой номенклатурой заказов. Аргументирована актуальность разработки методов оперативного планирования для повышения эффективности МСП данного типа. Проведен критический обзор научных публикаций и практических решений в области автоматизации оперативного планирования, с фокусом на труды ведущих исследователей в данной предметной области. Особое внимание уделено анализу методологических пробелов в существующих подходах к синхронизации процессов планирования и управления в условиях МСП, что обосновывает научную новизну и практическую значимость настоящего диссертационного исследования. Выявлена потребность в разработке комплексного методологического инструментария для оперативного



планирования МСП позаказного типа, способного обеспечить динамическую адаптацию к изменяющимся условиям производства.

Во второй главе представлена концепция мониторинга монтажно-сборочного производства и разработан инновационный метод синхронного оперативного планирования. Исчерпывающе описана формализованная модель предложенного метода, включающая дефиниции ключевых понятий, описание алгоритмов функционирования и определение критериев оценки эффективности. Детально проанализированы сложности и многоаспектность задач планирования в дискретном позаказном производстве, обоснована необходимость применения методов непрерывного мониторинга производственных процессов в режиме реального времени. Предложен метод мониторинга МСП, реализованный в виде алгоритмического комплекса динамического построения карты потока создания ценности (КПСЦ). Представлена архитектура и функциональная структура разработанной системы, включающая имитационный модуль, модуль синхронизации и модуль составления расписаний. Раскрыты принципы функциональной интеграции модулей посредством шины данных и управления, что соответствует современным парадигмам построения автоматизированных производственных систем. Обоснован выбор кросс-платформенной среды разработки Qt Creator, обеспечивающей масштабируемость и расширяемость разработанной системы. Подчеркнута значимость сбора данных в режиме реального времени и статистического анализа производственных параметров для обеспечения адаптивности и гибкости оперативного управления МСП.

Третья глава посвящена разработке имитационной модели динамического распределения ресурсов МСП для решения задач оперативного планирования. Предложен методологический подход к моделированию МСП как дискретно-событийной системы массового обслуживания, что позволяет использовать аппарат теории очередей для анализа динамики производственных потоков. Операции МСП формализованы как заявки на обслуживание, что обеспечивает высокую степень адекватности модели реальным производственным процессам. Проведен анализ ключевых аспектов функционирования моделируемой системы, включая алгоритмы управления очередностью операций, параметры интенсивности поступления заявок и механизмы адаптивного распределения ресурсов. Продемонстрирована функциональность имитационного модуля для верификации различных сценариев производственного процесса и идентификации узких мест, что способствует повышению эффективности оперативного управления ресурсами МСП.

Разработанная имитационная модель динамического распределения ресурсов МСП обеспечивает возможность верификации формируемых производственных планов и прогнозирования ожидаемых сроков выполнения заказов на основе оптимального распределения ресурсов. Подчеркнута функция модели по диагностике неравномерности загрузки производственных мощностей, что позволяет оптимизировать распределение трудовых ресурсов и оборудования. Обоснована возможность интеграции имитационной модели

с автоматизированными системами управления производством (АСУП) для экспериментальной оценки сценариев включения новых заказов в производственную программу.

Четвертая глава посвящена практической реализации предложенных методов в форме разработки и внедрения автоматизированной системы оперативного планирования МСП, представляющей собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для управления производством, относящимся к такому типу. Представлен алгоритм разработанного метода синхронного оперативного планирования, детально описана процедура выравнивания производственного цикла с использованием комбинированного подхода, включающего как выталкивающие, так и вытягивающие механизмы. Раскрыт механизм динамической корректировки оперативно-производственного плана на основе результатов синхронного планирования и выравнивания цикла, что обеспечивает адаптивность и динамичность функционирования системы управления в реальных производственных условиях. Представлены результаты экспериментальной апробации разработанной системы на примере производства комплекта деталей Э 4010-20-0042, подтверждающие ее работоспособность и эффективность в решении задач оперативного планирования.

В заключительной части диссертационной работы сформулированы основные научные результаты и практические рекомендации, подчеркнута научная новизна, теоретическая и практическая значимость проведенного исследования, а также определены перспективы дальнейшего развития предложенных методологических и программных решений.

В приложениях представлены акты о внедрении результатов исследования акт об использовании результатов исследования в учебном процессе, акт о внедрении на АО «НПП «Радиосвязь», дополнительные данные имитационного моделирования монтажно-сборочного цеха.

#### **Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Выбранные математические методы и модели соответствуют целям и задачам исследования, обеспечивая точность и надежность полученных результатов. Результаты тщательного сравнительного анализа разработанных автором моделей и методов демонстрируют преимущества предложенных решений по ключевым параметрам эффективности и функциональности. Фактическое применение системы в условиях, приближенных к реальным, подтверждает ее работоспособность и практическую ценность. При этом следует отметить, что сочетание в одной системе методов сбора информации об управляемом объекте и имитационной модели приближает формируемую модель к определению «высокоточной модели» (High-Precision Model), применяющемуся в технологии цифровых двойников. Сопоставление с обширным спектром известных аналогов, рассмотренных в рамках исследуемой предметной области, позволило выявить и эмпирически подтвердить преимущества предложенных решений по ряду ключевых параметров эффективности и функциональности.



Основные положения и результаты диссертационной работы апробированы на конференциях и опубликованы в 16 работах (из них 5 работ в рецензируемых журналах, 6 публикаций, входящих в систему цитирования Web of Science, Scopus, получены 8 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на изобретение. Предложенные автором модель и методы используются в деятельности АО «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск).

#### **Научная новизна результатов, ценность для науки**

Полученные соискателем в своей диссертации результаты внесли вклад в развитие данного научного направления и являются новыми, в том числе:

1. Впервые разработан метод синхронного оперативного планирования монтажно-сборочных процессов, отличающийся от известных методов планирования наличием процедуры выравнивания производственного такта с динамическим обновлением оперативного плана, что позволяет синхронизировать монтажно-сборочные процессы, тем самым обеспечить прогнозируемый срок исполнения заказов и повысить эффективность производства. Новизна метода подтверждена патентом РФ.

2. Разработана новая имитационная модель монтажно-сборочных процессов, обеспечивающая эффективность управления монтажно-сборочными процессами за счет динамического анализа реализуемости показателей текущего оперативного плана. Новизна решения подтверждена двумя свидетельствами о регистрации программы для ЭВМ.

3. Впервые предложен метод мониторинга МСП, отличающийся от известных комбинированным использованием фактических и модельных производственных данных для сокращения длительности производственного цикла и уменьшения числа незавершенных заказов. Новизна решения подтверждена свидетельством о регистрации программы для ЭВМ.

#### **Теоретическая значимость диссертационной работы**

Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в том, что оно расширяет и совершенствует инструментарий синхронизации производственных планов для позаказных производств с широкой номенклатурой. Основой такого расширения выступает разработка и внедрение алгоритмов, позволяющих согласовывать производственные ритмы и тем самым выстраивать более эффективное взаимодействие между всеми этапами технологического процесса. Существенным элементом является созданный метод мониторинга, который основывается на автоматизированном сборе параметров производственного цикла и их статистическом анализе. Это обеспечивает более детальный учет загрузки рабочих центров и повышает точность прогнозирования состояния заказа на каждом этапе его исполнения. Применение имитационного моделирования не только даёт возможность оценивать текущее положение дел, но и позволяет прогнозировать возможные изменения в производственной обстановке, что в конечном счете приводит к повышению эффективности управления и к уменьшению рисков при колебаниях спроса и доступности ресурсов. Таким образом, результаты данного исследования вносят вклад в теорию управления

производственными системами, предлагая новые методологические решения и инструменты для повышения их гибкости, адаптивности и эффективности.

#### **Практическая значимость диссертационной работы**

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке и внедрении специализированного ПО для синхронного оперативного планирования, а также его интеграции с уже функционирующей АСУ предприятия АО «НПП «Радиосвязь». Использование созданных алгоритмов и программных модулей позволяет существенно повысить эффективность управления ресурсами за счёт оптимизации монтажно-сборочных операций. Разработанная имитационная модель многономенклатурного мелкосерийного производства даёт возможность своевременно проверять выполнимость оперативного плана, выявлять потенциальные «узкие места» и корректировать производственный цикл на ранних этапах. Это особенно важно для предприятий с большим разнообразием изготавливаемой продукции.

Применение предложенных методов на базе АО «НПП «Радиосвязь», подтверждённых актом внедрения, демонстрирует их гибкость, результативность и универсальность. Полученные в рамках диссертации решения могут найти применение не только на аналогичных монтажно-сборочных площадках, но и в образовательном процессе при подготовке магистров по направлению «Управление качеством в автоматизированных производственных системах», в частности в курсе «Производственная логистика». Включение результатов исследования в учебные программы способствует повышению квалификации будущих специалистов и интеграции современных методов оперативного планирования в промышленность. Диссертационная работа была подготовлена в рамках научного проекта РФФИ № 20-07-00226, что подчеркивает её актуальность и значимость для развития методов синхронного планирования позаказного сборочного производства.

#### **Общая оценка работы**

В целом, диссертационная работа представляет собой актуальное и необходимое исследование в области автоматизации планирования и управления монтажно-сборочными процессами в производстве радиоэлектронной аппаратуры. Соискателем проведен значительный объем научной работы по решению задач информационного обеспечения проектирования изделий электронной техники. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, лично автором получены следующие результаты: [1, 5, 7, 8] – анализ методов повышения эффективности МСП приборостроительного предприятия; [2, 11, 12] – имитационная модель монтажно-сборочных процессов; [3, 4, 9] – метод мониторинга МСП; [4, 5, 10] – метод синхронного оперативного планирования. Данные результаты прошли апробацию на конференциях различного уровня, внедрены в учебный и производственный процесс. Содержание диссертационной работы и полученные результаты соответствуют пунктам 1, 8, 11 и 13 паспорта научной специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.



#### **Выявленные недостатки и замечания:**

1. Обзор литературы не включает целый пласт исследований, посвященных методам мониторинга и прогнозирования дискретно-событийных систем, ведущихся группой ван дер Аалста – технологии Process Mining и связанных с ней методов анализа и прогнозирования дискретно-событийных систем на базе окрашенных сетей Петри. Возможно, учет подходов к анализу протоколов событий позволит автору сделать мониторинг МСП более гибким.

2. В плане оценки эффективности вырабатываемых планов от внимания автора ускользнул такой важный пласт методов оптимизации дискретных процессов, как смешанное целочисленное линейное программирование (Mixed Integer Linear Programming, MILP), ставшее одним из наиболее широко изучаемых методов для решения задач планирования процессов. Упоминание посвященных данным подходам работ ван дер Аалста, Белабдауи, Флудаса и Калласа сделало бы обзор методов управления системами процессов более полным, а сам метод как таковой, возможно, дополнил бы работу в части формальных методов выработки решений по улучшению планов.

3. Тезис о практической полезности применяемых методов следовало бы подкрепить результатами сравнительного анализа эффективности разработанной системы по сравнению с существующими решениями.

4. Применимость предложенного решения к управлению сложными системами производственных процессов с многочисленной номенклатурой деталей сборочных единиц сложно оценить без выполнения оценки вычислительной сложности предложенных методов и алгоритмов мониторинга МСП, а особенно – имитационного моделирования состояния производства, которое автор предлагает выполнять онлайн, непосредственно в ходе управления производством.

#### **Заключение о соответствии диссертации требованиям и критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Вышеуказанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Диссертация представляет собой завершенное научное исследование на актуальную тему, выполненное самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, имеют теоретическую и практическую значимость. Область научных исследований и тематика диссертационной работы соответствуют заявленной специальности, выводы и заключения, сделанные автором, обоснованы.

Аннотация соответствует основному содержанию диссертации, содержит описание основных этапов исследования, полученные результаты и выводы. Оформление аннотации и диссертации соответствует требованиям ВАК РФ.

Представленная диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013, № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Русских Полина Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Кандидат технических наук \_\_\_\_\_

Доррер Михаил Георгиевич  
«18» января 2025 года.

**Официальный оппонент:**

Доррер Михаил Георгиевич

660037, г. Красноярск, пр. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

тел. +7 (391) 264-00-14

e-mail: info@sibsau.ru

Научная специальность 05.13.16 - Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (в биофизике)

Подпись *Доррер М.Г.*  
удостоверяю  
Должность *ст. преподаватель по персоналу*

*Габдулсаттар С.У.*  
14 01 25

