

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Воронина Дмитрия Николаевича на тему «Модели и алгоритмы формирования  
производственных расписаний на основе эволюционных вычислений и  
нечёткой логики», представленной на соискание учёной степени кандидата  
технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами.

### Актуальность темы

В современных условиях деятельность отечественных производителей должна быть ориентирована на выпуск высококачественной и конкурентоспособной продукции при максимальном снижении затрат на её производство. Поэтому особую значимость приобретает использование передовых методов управления производством. В этой связи особый интерес представляют методы составления оптимальных производственных расписаний, позволяющие сократить простои оборудования и повысить эффективность его использования. Представленная работа позволяет расширить возможности используемой автоматизированной системы управления предприятием (АСУП), в части составления оперативно-календарного плана загрузки оборудования или, как пишет ряд авторов, – производственного расписания.

Время наибольшего интереса и публикаций по оперативно-календарному планированию (ОКП) приходится на 50-е, 60-е и начало 70-х годов двадцатого столетия, когда были разработаны и классифицированы различные системы ОКП. Рассматриваемые системы планирования создавались с учётом особенностей серийного и массового производства, в то время как в настоящее время преобладающим типом производства является мелкосерийное и единичное.

По мнению ряда учёных, работы в области управления производством, применительно к качественно новому уровню механообрабатывающего оборудования и возросшей интенсивности выпуска изделий, особенно в части внутрицехового управления, не всегда позволяют получить полностью оптимальное производственное расписание. В этой связи решение предлагаемой проблемы является актуальным и своевременным.

### Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается логичным построением теоретического исследования на основе глубокого понимания производственных процессов механообрабатывающих цехов, корректного использования фундаментальных положений теорий расписаний, массового обслуживания, методов математического

моделирования, математической логики, эволюционных вычислений, нечёткой логики, технологии объектно-ориентированного программирования.

Это позволило разработать математическое обеспечение и алгоритмы оптимизации производственных расписаний, позволяющие исключить возможные простои оборудования.

Разработаны две программы для ЭВМ, зарегистрированные в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Программное обеспечение успешно прошло экспериментальную проверку на производстве.

Выводы и рекомендации, представленные в диссертации, соответствуют поставленным задачам, в достаточной степени обоснованы и логично вытекают из содержания исследования.

### **Значимость для науки и практики, проведенной соискателем работы**

**Теоретическая значимость** исследования определяется предложенными новыми моделями и алгоритмами составления производственных расписаний, направленными на развитие перспективной тематики, связанной с интеллектуализацией процессов оптимизации, позволяющей получить адаптивные, самонастраивающиеся под характер задачи, системы оптимального управления производством.

#### **Практическая значимость работы определяется:**

- применением разработанных моделей и алгоритмов, позволяющих формировать оптимальные расписания для различных производственных условий;
- разработанным математическим, информационным, программным обеспечением составления производственных расписаний (свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ №20242024690192; №2024690240), позволяющими получать глобальное оптимальное расписание;
- предложенными практическими рекомендациями, позволяющими сократить простои производственного оборудования, вызванные несогласованностью распределения работ.

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

Достоверность полученных результатов подтверждена экспериментальными данными, сравнением с решениями и результатами других авторов.

Доказательная база основных положений диссертационной работы усиливается достаточно обширным и убедительным списком использованных источников, а также работами самого соискателя, в которых отсутствуют противоречия с результатами ранее выполненных исследований в выбранной научной области. В работе использована достоверная и проверяемая информационно-эмпирическая база, содержащая достаточный для проведения исследования объем данных, апробированные научные методы исследования, авторское программное обеспечение, современный математический аппарат, а

также достоверная исходная информация.

Научной новизной обладают следующие положения:

- 1) модифицированный генетический алгоритм (ГА) формирования производственных расписаний, отличающийся от известных последовательным использованием эволюционной модели Дарвина, а затем модели де Фриза;
- 2) математическое обеспечение нечеткого контроллера для ГА формирования производственных расписаний, отличающееся от известных использованием в качестве управляемых значений таких параметров ГА, как величина и вероятность редукции;
- 3) алгоритм формирования производственных расписаний, отличающийся применением нечеткого контроллера управления параметрами операции редукции.

Основные выводы по теме диссертации докладывались и обсуждались на российских и международных научных конференциях и семинарах по профилю работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в авторитетных российских изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. Материалы по теме диссертации опубликованы в 3 публикациях в изданиях из списка ВАК; получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные результаты исследования представлены в них достаточно полно.

В заключении диссертации сформулированы результаты и выводы, являющиеся обобщением теоретических и экспериментальных исследований, представляющих несомненную ценность для теории и практики автоматизации и управления технологическими процессами и производствами в области управления внутрицеховыми процессами за счёт автоматизированного формирования расписаний, обладающие существенной научной новизной и достоверностью.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе, списка использованных источников и приложений. Содержание работы изложено на 137 страницах, включая 34 рисунка, 14 таблиц и 19 страниц приложений. Работа оформлена по общепринятой структуре, изложение материала соответствует требованиям к рукописям научных работ.

Перечень положений, которые составляют научную новизну, приведен во введении на стр. 6-7 диссертации. Основные выводы по работе представлены на стр. 105.

В главе 1 автор рассматривает актуальность проблемы составления производственных расписаний, проводит анализ диссертаций по проблеме исследования, выполняет оценку компьютерных систем оперативно-календарного планирования, исследует подходы, используемые при составлении производственных расписаний.

По результатам первой главы автор делает вывод, что эвристические методы, основанные на решающих правилах, позволяют получить за короткое

время некоторый эффективный вариант расписания, но далеко не всегда это расписание оптимально. Результаты анализа публикаций по тематике, схожей с тематикой исследования показали, что при составлении производственных расписаний цехового уровня всё чаще используются оптимизационные методы.

Обзор систем оперативно-календарного планирования, показал, что они обладают широким функционалом, используют различные механизмы интеграции с существующими системами. В большинстве рассмотренных систем расписание строится эвристическими методами. Применение искусственных нейронных сетей вносит высокий процент неоднозначности получаемого решения, хотя и близкого к оптимальному.

По результатам исследования, приведённым в первой главе, обосновывается применение для оптимизации производственных расписаний генетических алгоритмов и нечёткой логики.

Во второй главе диссертации описана разработка генетического алгоритма оптимизации производственных расписаний. Поставлена задача оптимизации, приведено описание генетических операторов.

Предложен вариант структурированной популяции в виде двумерного массива, что позволило автору реализовать клеточный генетический алгоритм оптимизации производственного расписания. Выполнена программная реализация. Оценка эффективности клеточного и традиционного ГА проведена на основе дисперсионного однофакторного анализа. Эффективность поиска глобального оптимального производственного расписания проведена на основе экспериментов со значениями вероятности применения в ГА операции мутации. Так как данные эксперименты не дали положительного результата, то принято решение о модификации алгоритма путём разбиения на исследующий поиск и поиск глобального оптимального значения. Предложенная модификация генетического алгоритма позволила гарантированно определить глобальное оптимальное производственное расписание для всех случаев запуска процесса оптимизации. Однако, существенным недостатком предложенного подхода является многократное увеличение времени работы алгоритма. Для устранения данного недостатка автор предложил применение методов нечёткой логики.

Во третьей главе диссертации развита основная идея работы – разработка нечёткого генетического алгоритма оптимизации производственных расписаний. Для увеличения генетического разнообразия, на начальных этапах поиска оптимального производственного расписания автор предложил ввести нечёткий оператор редукции. Описаны лингвистические переменные определяющие, величину редукции, скорость сходимости алгоритма и вероятность редукции. Приведена база правил, определяющих нечёткое значение величины редукции и вероятность её выполнения в процессе оптимизации. Введение нечёткого управления в процесс поиска оптимальных производственных расписаний позволило гарантированно определить глобальный экстремум при значительном сокращении требуемых вычислительных ресурсов.

Как я уже отмечал выше, содержание этой главы определяет один из основных пунктов научной значимости работы.

В главе 4 решаются вопросы верификации предложенных моделей и

алгоритмов составления оптимальных производственных расписаний. Предлагается описание нескольких проведённых автором экспериментов, направленных на оценку работы предложенных моделей и алгоритмов оптимизации производственных расписаний для различных производственных условий: для обработки изделий партиями, для различной длительности сменного задания, для формирования производственных расписаний на основе приоритетов и по минимальной трудоёмкости изготовления. Предложены рекомендации по настройке параметра, отвечающего за вероятность выполнения нечёткой операции редукции.

Диссертация написана на высоком научном уровне и представляет законченную научно-исследовательскую работу в соответствии с поставленными задачами.

### **Замечания по диссертационной работе**

1) В работе используется только один вид обслуживающих устройств (ОУ) – рабочие центры (РЦ). На самом деле их больше – РЦ, ТС в виде транспортных устройств, осуществляющих перевозку партий деталейсборочных единиц (ДСЕ) между РЦ согласно технологическому процессу(ТП), бригады наладчиков (БН). Но без учета хотя бы двух типов ОУ – РЦ и ТС расписание, по сути является невыполнимым. Правда, для ТС и БН после построения основного расписания можно использовать метод проекций (см. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Полная версия. **Старый Оскол: ТНТ. – 2019 – 416 с.**), но этот метод приводит к весьма неэффективному использованию фонда времени ТС и БН.

2) В работе отсутствуют переменные, характерные для систем оперативно-календарного планирования (ОКП): время переналадки под партию ДСЕ, горизонт планирования, перечень критериев планирования и пр.

3) Автор часто использует определение «глобальное оптимальное решение». Дело в том, что в классике исследования операций такого понятия нет, – существуют: вырожденные решения, неограниченные, допустимые, системы с отсутствием допустимых решений, оптимальные решения и системы с множеством оптимальных решений (в некоторых случаях количество оптимальных решений может достигать бесконечности: Загидуллин Р.Р. Оперативно-календарное планирование в дискретном производстве (модели, критерии, алгоритмы. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, - 2023. – 200 с.).

4) Не сказано, для какого вида производства разработан алгоритм – единичного, мелкосерийного, среднесерийного, крупносерийного или массового.

5) Автор не вводит понятие технологического процесса и его формального вида. Складывается впечатление, что в планировании участвуют изделия с одной операцией.

6) Предлагая свой метод, автор не приводит оценку вычислительной сложности построенного алгоритма. Судя по количеству предварительных операций над мутациями, он достаточно высокий.

7) Автор отмечает, что планирование на партиях ДСЕ, с использованием предложенных им методов, представляет некоторые сложности в плане достижения приемлемого допустимого решения. Но дело в том, что в большинстве случаев в машиностроении ДСЕ запускаются именно партиями. Правда, окончательное решение этой проблемы, по словам автора, планируется на будущее.

Несмотря на указанные замечания, работа Воронина Д.Н., заслуживает внимания и ее следует воспринимать как еще один шаг вперед в плане развития теории ОКП.

В целом, указанные замечания не являются критичными, не снижают теоретическую и практическую значимость работы, а также её общую ценность и положительную оценку и могут быть рассмотрены соискателем в качестве рекомендации к продолжению исследований в выбранном направлении.

### **Заключение**

Диссертационная работа Воронина Д.Н. на тему «Модели и алгоритмы формирования производственных расписаний на основе эволюционных вычислений и нечёткой логики» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, в области автоматизации и управления технологическими процессами и производствами, имеющие существенное значение для развития страны.

Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне с широким кругозором автора в области системного анализа, теории управления, нечёткой логики, теории расписаний, теории очередей, статистической обработки информации, теории множеств, теории алгоритмов, генетических алгоритмы, технологии объектно-ориентированного программирования, методов функционального моделирования и других дисциплин. Это позволило проанализировать процесс составления производственных расписаний, определить проблемы исключения простоев оборудования и предложить эффективные пути их решения.

Содержание автореферата полностью соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а её автор, Воронин Дмитрий Николаевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

**Официальный оппонент:** доктор технических наук по научной специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

ЗР Загидуллин Равиль Рустэм-бекович

Дата составления отзыва: «28» марта 2025 г.

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку

ЗР Загидуллин Равиль Рустэм-бекович

Сведения о месте работы:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», ИТМ, кафедра «Автоматизация технологических процессов».

450076, Республика Башкортостан, г. Уфа,

ул. Заки Валиди, дом 32

+ 7 (347) 229-96-16, rector@uust.ru, <https://uust.ru/>

Подпись Загидуллина Равиля Рустэм-бековича заверяю:

