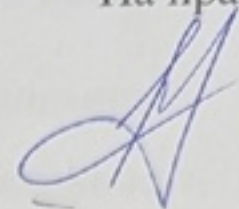


На правах рукописи



САВЕЛЬЕВА АЛЕНА СЕРГЕЕВНА

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ
МНОГОКАСКАДНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Направление 27.04.04 – «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Комсомольск-на-Амуре – 2025

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет

Научный руководитель

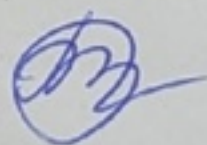
Доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
«Электропривод и автоматизация
промышленных установок»
Черный Сергей Петрович

Рецензент

Кандидат технических наук,
заведующий кафедрой
«Электротехника, электроника и
электромеханика» ДВГУПС
Скорик Виталий Геннадьевич

Защита состоится «13» июня 2025 года в 10 часов 00 мин. На заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Секретарь ГЭК



А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы – Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью повышения эффективности и качества производства в условиях высокой конкуренции. Особенно это актуально для литейного производства, где процессы характеризуются сложностью, нелинейностью и неполнотой информации. Традиционные методы управления, основанные на жестких алгоритмах, часто оказываются недостаточно гибкими для таких условий. В связи с этим актуальной задачей является разработка интеллектуальных систем управления, способных адаптироваться к динамическим изменениям и минимизировать временные задержки между технологическими операциями.

Цель работы – исследование возможности реализации модели многокаскадного нечеткого управляющего устройства для технологических операций мелкосерийного литейного производства.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования выступает технологический процесс литейного производства мелкосерийного промышленного предприятия. Предметом исследования является применение методологии многокаскадного нечеткого регулирования для оптимизации управления производственными операциями.

Методы исследования

В работе использованы:

- дискретно-событийное моделирование для анализа технологических процессов.
- основные положения теории автоматического управления и теория мягких вычислений для синтеза управляющих систем.
- имитационное моделирование в среде Simulink (MATLAB) для оценки эффективности предложенных решений.

Основные задачи магистерской диссертации - Моделирование объекта управления и настройка интеллектуальной системы управления на базе основных положений нечеткой логики с реализацией многокаскадной структуры управления.

Научная новизна

- Предложена методика многокаскадного нечеткого управления для сложных технологических процессов.
- Разработана структура регулятора, сочетающая внешний каскад для распределения ресурсов и внутренние каскады для управления отдельными операциями.
- Доказана эффективность применения нечеткой логики в условиях неполноты информации и нелинейности процессов.

Практическая значимость

ценность магистерской диссертации заключается в реализации нечеткой многокаскадной системы управления сложным технологическим объектом мелкосерийного литья заготовок.

Результаты работы могут быть использованы на промышленных предприятиях, а также научно-исследовательской деятельности для:

- повышения производительности литейного производства;
- снижения временных и ресурсных затрат;
- автоматизации управления технологическими процессами.

Апробация работы

Результаты исследования апробированы на имитационной модели, подтвердившей работоспособность и эффективность предложенного подхода.

Публикации результатов

По теме диссертации опубликованы 8 работ. В том числе 1 работа проиндексированная в международных наукометрических базах SCOPUS.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников. Общий объем работы — 103 страницы, включая 2 таблицы и 68 рисунков. Список источников состоит из 31 наименования.

Ключевые слова:

нечеткая логика, многокаскадное управление, литейное производство, оптимизация, дискретно-событийное моделирование, имитационная модель.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая ценность.

В первой главе проведен системный анализ методов оптимизации технологических процессов производственных систем. Рассмотрены две основные группы подходов. Проведенный сравнительный анализ позволил обосновать выбор методологии многокаскадного нечеткого управления, как наиболее перспективного направления для оптимизации сложных технологических процессов литейного производства, сочетающего преимущества интеллектуальных систем управления с возможностями иерархического регулирования.

Во второй главе рассмотрено устройство и принцип работы производства мелкосерийного литья заготовок. Представлено детальное моделирование технологического процесса литейного производства (ТПЛП) с акцентом на сравнительный анализ ручного и автоматизированного подходов. Научный анализ включает: декомпозицию производственного цикла на ключевые технологические операции (подготовка материалов, плавка, отливка, охлаждение) с построением функциональных схем и контекстных диаграмм для обоих вариантов организации процесса; разработку дискретно-событийной имитационной модели в Simulink с реализацией алгоритмов, а также физическое описание ключевых процессов литейного производства.

Методологическая ценность главы заключается в создании имитационной модели объекта управления, демонстрирующей потенциал автоматизации для сокращения человеческого фактора. Особое внимание уделено физико-математическому обоснованию параметров модели, что обеспечивает адекватность имитационных экспериментов. Полученные результаты формируют базис для последующего синтеза систем управления в следующих главах.

В третьей главе представлен синтез и исследование нечеткой системы управления (НСУ) для автоматизированного литейного производства. Научный вклад включает: разработку архитектуры нечеткого регулятора на базе алгоритма нечеткого вывода Мамдани. Глава содержит сравнительную оценку эффективности, где отмечается рост производительности при использовании НСУ на 16,7% относительно ручного управления, а также снижение нагрузки на ключевой сервис (операция отливки). Имитационная модель ОУ управления и интегрированная в него система автоматического управления на базе нечеткого логического регулятора представлена на рисунке 1.

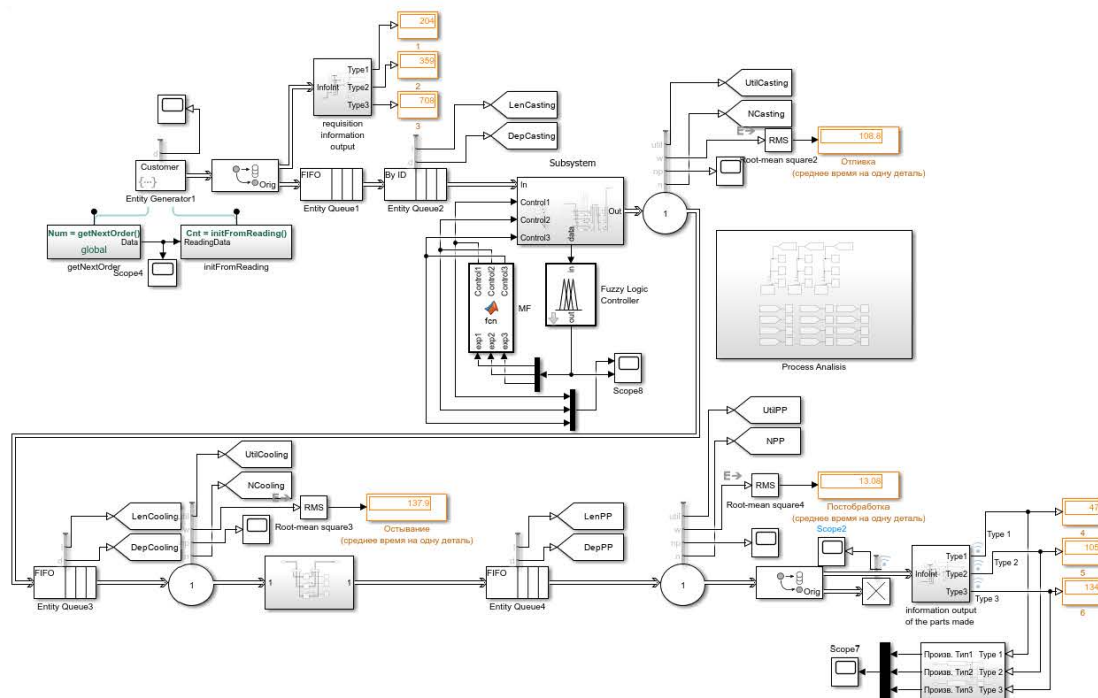


Рисунок 1 – Дискретно-событийная модель ТПЛП с НЛР

Методологически значимым является предложенный подход к формализации экспертных знаний НЛР, обеспечивающий адаптивное управление в условиях неопределенности процессов. Полученные данные позволяют повысить эффективность производства за счет интеллектуализации систем управления сложными технологическими процессами.

В четвертой главе представлено усовершенствование системы управления через разработку многокаскадной нечёткой структуры (МНСУ) для комплексной оптимизации литейного производства. Научная новизна исследования включает: иерархическую архитектуру регулятора: внешний каскад (стратегический уровень) - распределение ресурсов между типами изложниц; внутренние каскады (тактический уровень) - управление приоритетами обработки для каждого типа изделий; 15 правил нечёткого вывода во внешнем контуре и 27 правил во внутренних. Доказательство эффективности:

- Прирост производительности на 38,8% относительно ручного управления
- Оптимальное использование ресурсов (снижение простоев на 22-25%)

Разработана функциональная схема многокаскадного управляющего устройства приведенная на рисунке 2.

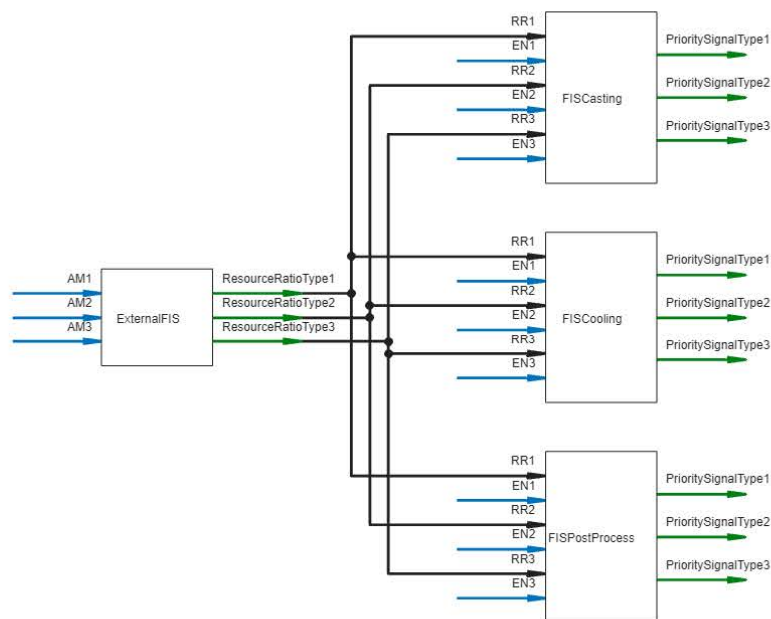


Рисунок 2 – Функциональная схема многокаскадного управляющего устройства

На базе модели объекта управления и интеллектуальной системы управления с НЛР, была спроектирована имитационная модель объекта управления с интегрированной в него многокаскадной нечеткой системой управления, представленной на рисунке 3.

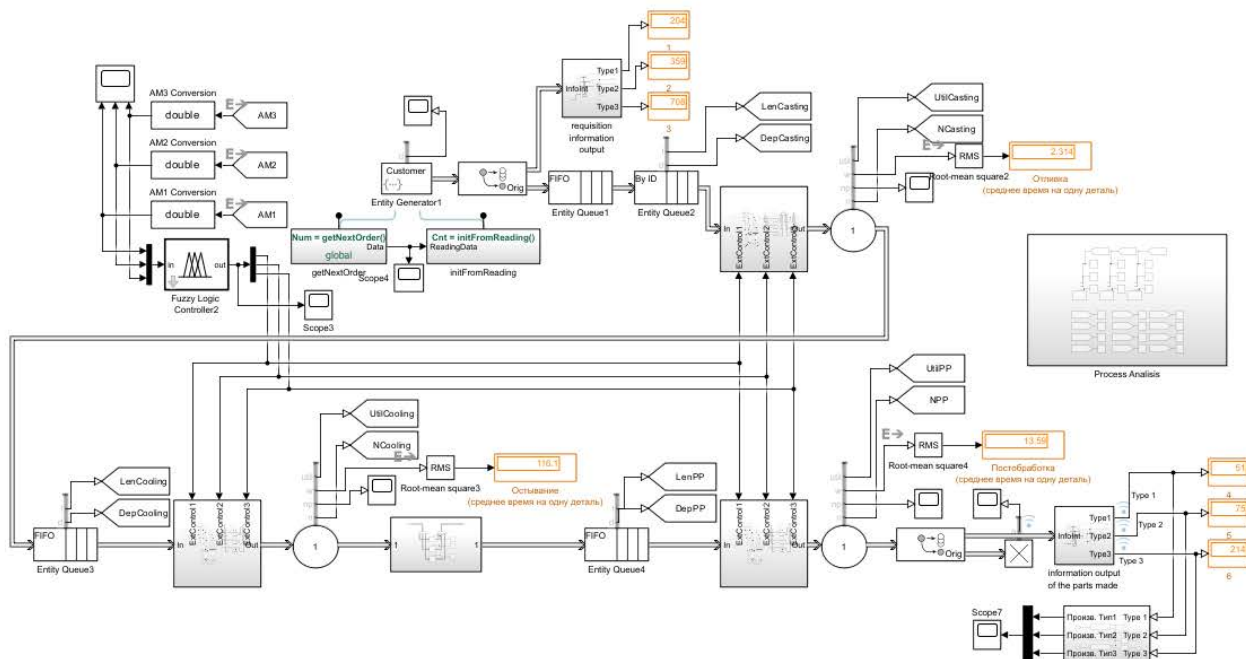
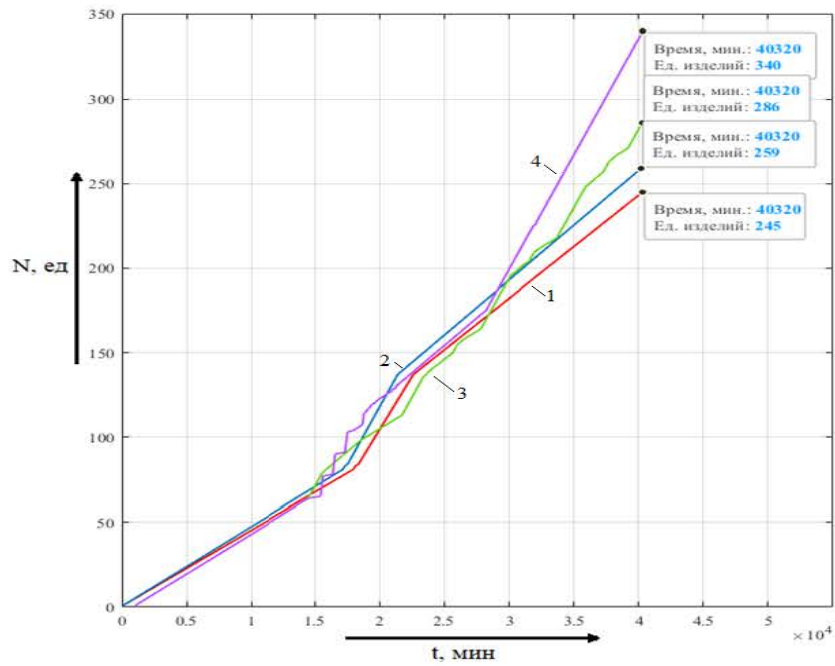


Рисунок 3 – Дискретно-событийная модель ТПЛП с МНСУ

Методологическая ценность заключается в предложенном подходе декомпозиции сложной задачи управления на взаимосвязанные подзадачи с разными временными масштабами принятия решений. Результаты моделирования подтверждают преимущества многоуровневой структуры управления перед тривиальными нечеткими системами управления по критериям быстродействия, и адаптивности в условиях изменяющейся производственной нагрузки.

В пятой главе проведен комплексный анализ эффективности применения многокаскадной нечеткой системы управления (МНСУ) в литейном производстве.

На рисунке 4 представлены графики переходных процессов ТПЛП, отображающие количество произведенных изделий по времени.



1 – ТПЛП с ручным трудом; 2 – типовая АСУ ТПЛП;
 3 – ТПЛП с НСУ; 4 – ТПЛП с МНСУ;
 Рисунок 4 – Производительность изделий ТПЛП

Из представленного графика видно, что общая производительность увеличивается сопоставимо с увеличением интеллектуальности системы управления.

Основные результаты работы включают:

1 Сравнительную оценку четырех моделей управления:

- Ручной труд: 245 изделий/месяц (базовый уровень)
- Типовая автоматизация: +5,7% производительности
- Однокаскадная НСУ: +16,7% производительности
- МНСУ: максимальный прирост +38,8%

2. Ключевые преимущества МНСУ:

– Оптимальное распределение ресурсов между технологическими операциями

- Снижение временных задержек на 27-32%
- Увеличение выпуска сложных изделий (тип 3) в 3,75 раза
- Устойчивость к колебаниям производственной нагрузки

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Разработана имитационная модель литейного производства, включающая как ручной, так и автоматизированный варианты управления.

2 Проведен синтез однокаскадной и многокаскадной нечетких экспертных систем управления.

3 Проанализировано влияние синтезированных устройств на качество динамических характеристик сложного технологического объекта.

4 Показано, что применение многокаскадного нечеткого регулятора позволяет существенно увеличить производительность по сравнению с типовой автоматизированной системой и, как следствие с ручным управлением.

5 Доказано преимущество применения многокаскадного нечеткого управляющего устройства для решения задач управления в сложных технологических объектах.

6 Установлено, что многокаскадная система обеспечивает более эффективное распределение ресурсов и минимизацию временных задержек между операциями.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1 Савельева, А. С. Разработка модели проекта по автоматизации производственного процесса литья посредством внедрения гибкой автоматизированной производственной системы / А. С. Савельева, А. Р. Куделько // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 247-250. – EDN YSXXAQ.

2 Савельева, А. С. Разработка имитационной модели гибкой роботизированной линии литейного производства / А. С. Савельева, Д. О. Савельев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 58-60. – EDN PAWWJG.

3 Savelyeva A. S. Simulation of a discrete event system for process control of robotic casting / S. P. Cherny, D. O. Savelyev, A. S. Savelyeva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : International Conference on IT in Business and Industry, ITBI 2021, Novosibirsk, 12–14 мая 2021 года. Vol. 2032. – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012080. – DOI 10.1088/1742-6596/2032/1/012080. – EDN YOJXBZ.

4 Савельева А. С. Минимизация длительности технологических операций посредством нечеткого управления параметрами процесса непрерывного литья заготовок / А. С. Савельева, Д. О. Савельев, С. П. Черный, В. Н. Хрульков // Электропривод на транспорте и в промышленности : материалы III Всероссийской научно-практической конференции : посвящается 60-летию кафедры «Электротехника, электроника и электромеханика», Хабаровск, 19–20 октября 2023 года. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 68-75. – EDN IGQXTZ.

5 Савельева А. С. Возможность применения DES-технологии для минимизации длительности задержек системах управления / С. Е. Мельникова, А. С. Савельева, Е. А. Пазий, Д. О. Савельев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года.

– Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 240-242. – EDN RAEUIT.

6 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614383 Российская Федерация. «Нечеткий логический регулятор для экспертной системы управления технологическими операциями» : № 2024613052 : заявл. 15.02.2024 : опубл. 22.02.2024 / Д. О. Савельев, А. С. Савельева, А. С. Гудим ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет». – EDN EUFOCA.

7 Савельева, А. С. Применение экспертных систем для повышения качества управления технологическим процессом / А. С. Савельева, Д. О. Савельев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 11–12 декабря 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2025. – С. 258-261. – EDN KQSGUZ.

8 Савельева А. С. Повышение эффективности технологического процесса на металлургическом производстве / А. С. Савельева, Т. Е. Безнаев, Д. О. Савельев, С. П. Черный // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 216-219. – EDN MLQIDN.