

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Материалы международной
научно-практической конференции

(9 сентября 2026)

УДК 004.02:004.5:004.9

ББК 73+65.9+60.5

Ц75

Редакционная коллегия:

Абидов А.А., кандидат технических наук, доктор экономических наук, профессор

Ахмеджонов Д.Г., доктор технических наук, профессор

Бахриддинов В.А., кандидат экономических наук (PhD), доцент

Ганиева Г.И., кандидат биологических наук (PhD)

Гопиров М.О., кандидат географических наук (PhD), доцент

Исмаилова Н.Я., кандидат экономических наук (PhD), доцент

Калимбетов Х.К., доктор экономических наук, доцент

Махмудов О.Х., доктор экономических наук, профессор

Назаров А.А., доктор технических наук, профессор

Омонов М.И., доктор биологических наук, доцент, профессор

Федорова Ю.В., доктор экономических наук, профессор

Ц75 ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ: материалы международной научно-практической конференции (9 сентября 2026г., Пенза) Отв. ред. Смирнова Т.В. – Издательство ЦПМ «Академия Бизнеса», Саратов 2026. - 37с.

Сборник содержит научные статьи и тезисы ученых Российской Федерации и других стран. Излагается теория, методология и практика научных исследований в области информационных технологий, экономики, образования, социологии.

Для специалистов в сфере управления, научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов вузов и всех лиц, интересующихся рассматриваемыми проблемами.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Материалы сборника размещаются в научной электронной библиотеке с постатейной разметкой на основании договора № 1412-11/2013К от 14.11.2013.

ISBN 978-5-6030098-2-7

УДК 004.02:004.5:004.9

ББК 73+65.9+60.5

© *Институт управления и социально-экономического развития, 2026*

© *Саратовский государственный технический университет, 2026*

© *Центр профессионального менеджмента «Академия бизнеса», 2026*

УДК 621.316.7

Изанбаев М.А.

студент

ФГБОУ ВО «КНИТУ– КАИ им. А.Н. Туполева»

Российская Федерация, г. Казань

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И
КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ**

Аннотация: В статье представлен систематический обзор методов автоматической оптимизации энергопотребления регулируемых электроприводов переменного тока. Рассмотрены модельно-аналитические, экстремальные, интеллектуальные и предиктивные подходы, выполнен их сравнительный анализ по модели, адаптивности, зависимости от параметров и вычислительной сложности. На основе анализа предложены классификация методов и трехуровневая архитектура, объединяющая оценивание состояния, энергетическую оптимизацию и исполнительное управление. Ключевые слова: электропривод, энергоэффективность, оптимизация, машинное обучение, прогнозирующее управление, систематический обзор.

Izanbaev M.A.

student

KNRTU named after A.N. Tupolev – KAI

Russian Federation, Kazan

**AUTOMATIC OPTIMIZATION OF ELECTRIC DRIVE POWER
CONSUMPTION: A SYSTEMATIC REVIEW AND TAXONOMY OF
STATE-OF-THE-ART METHODS**

Abstract: The article presents a systematic review of methods for automatic energy consumption optimization of adjustable AC electric drives is presented. Model-based analytical, extremum-seeking, intelligent, and predictive approaches are considered. Their comparative analysis is carried out according to the model used, adaptability, dependence on motor parameters, and computational complexity. Based on the analysis, a classification of methods and a three-level architecture combining state estimation, energy optimization, and executive control are proposed.

Keywords: electric drive, energy efficiency, optimization, machine learning, predictive control, systematic review.

1. Введение

Электроприводы - крупнейшие потребители электроэнергии в промышленности. Их энергосберегающий потенциал связан не только с номинальным КПД, но и с оптимизацией режима под фактическую нагрузку [4]. Современные исследования предлагают различные подходы: аналитическую минимизацию потерь, экстремальный поиск, адаптивные и предиктивные алгоритмы [1], каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения.

Цель - систематизировать методы автоматической оптимизации энергопотребления электропривода и разработать классификацию для определения областей их рационального применения.

2. Методы и исследования

Обзор выполнен на основе анализа публикаций по энергоэффективности и оптимальному управлению электроприводами [1; 2; 3]. Методы сравнивались по пяти критериям: используемая модель, объект оптимизации, адаптация в реальном времени, требования к измерениям и вычислительная сложность. Задача формализована как минимизация

суммарных потерь при заданной механической мощности и ограничениях по току, напряжению и температуре [2]. Отмечено, что паспортный класс эффективности не отражает реальную эффективность во всех режимах, что обосновывает необходимость оптимизации управления.

3. Результаты исследования

Выделены четыре основных класса методов:

а) Модельно-аналитические- используют математическую модель для расчета оптимального потока или тока. Преимущество- быстрота и малая вычислительная нагрузка. Недостаток- высокая зависимость от параметров двигателя, меняющихся с нагревом и износом;

б) Экстремальные- оптимум определяется в реальном времени путем пробных изменений и оценки потребляемой мощности. Менее чувствительны к неточности модели, но требуют времени на поиск и могут создавать переходные потери;

в) Интеллектуальные и адаптивные- Включают нечеткую логику, нейросети и эвристические алгоритмы. Хорошо работают с нелинейностями и неопределенностью, но нуждаются в настройке, данных и вычислительных ресурсах;

г) Предиктивные и многокритериальные- учитывают одновременно энергопотребление, динамику, нагрев и ограничения. Обеспечивают комплексную оптимизацию, однако наиболее сложны в реализации.

Предложена трехуровневая архитектура оптимизации:

1) оценивание состояния (скорость, ток, напряжение, мощность, температура);

2) определение энергетически оптимальной точки;

3) формирование управляющих сигналов для преобразователя.

Такое построение позволяет комбинировать методы: аналитическая

модель задает стартовую точку, а экстремальный или адаптивный алгоритм корректирует ее при изменении параметров. Гибридный подход снижает чувствительность к точности модели, сохраняя высокое быстродействие.

4. Заключение

Систематизированы современные методы оптимизации энергопотребления электроприводов. Показано, что эффективность определяется не только характеристиками двигателя, но и режимом управления. Модельно-аналитические методы обеспечивают скорость, экстремальные - адаптацию, интеллектуальные - работу в условиях неопределенности, предиктивные - многокритериальный учет.

Оригинальным результатом является трехуровневая архитектура, объединяющая оценку, оптимизацию и управление. Перспективным признан гибридный подход с совместным использованием аналитической модели и онлайн-адаптации.

Использованные источники:

1. Bazzi A. M., Krein P. T. Review of Methods for Real-Time Loss Minimization in Induction Machines // IEEE Transactions on Industry Applications. — 2010. — Vol. 46, № 6. — P. 2319–2328. — DOI: 10.1109/TIA.2010.2070475.
2. Diachenko G. G., Aziukovskyi O. O. Review of methods for energy-efficiency improvement in induction machines // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. — 2020. — № 1. — P. 80–86. — DOI: 10.33271/nvngu/2020-1/080.
3. Dinolova P., Ruseva V., Dinolov O. Energy Efficiency of Induction Motor Drives: State of the Art, Analysis and Recommendations // Energies. — 2023. — Vol. 16, № 20. — Art. 7136. — DOI: 10.3390/en16207136.
4. Saidur R. A review on electrical motors energy use and energy savings // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2010. — Vol. 14, № 3. — P. 877–898. — DOI: 10.1016/j.rser.2009.10.018.

УДК 004

Каменская А.А.

студент

*Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева*

**РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ПО РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИМ ПРЕДЛОЖЕНИЯМ**

Аннотация: актуальность работы обусловлена развитием применения автоматизации бизнес-процессов на предприятиях. Целью работы является разработка и проектирование информационной системы автоматизации бизнес-процесса принятия решений по рационализаторским предложениям. В ходе работы применены теоретические и общенаучные методы исследования, такие как анализ и синтез, моделирование и формализация. Также использовано проектирование программного обеспечения, как один из методов программной инженерии. В результате сформированы схемы процессов, требования к системе и технологический стек разработки.

Ключевые слова: автоматизация, информационная, система, бизнес-процесс, технологический, стек.

Kamenskaya A.A.

student

Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev

**DEVELOPMENT AND DESIGN OF AN INFORMATION SYSTEM FOR
AUTOMATING THE BUSINESS PROCESS OF DECISION-MAKING ON
INNOVATION PROPOSALS**

Abstract: the relevance of the work is due to the growing use of business process automation in enterprises. The aim of the work is to develop and design an information system for automating the business process of decision-making on innovation proposals. During the work, theoretical and general scientific research methods were applied, such as analysis and synthesis, modeling and formalization. Software design was also used as one of the methods of software engineering. As a result, process diagrams, system requirements, and the development technology stack were formed.

Keywords: automation, information, system, business process, technology, stack.

Целью разработки информационной системы (ИС) является цифровизация и ускорение процесса подачи, обработки и экспертизы рационализаторских предложений на предприятии. Существующая проблема заключается в длительном ручном оформлении и отсутствии прозрачной системы поддержки принятия решений, что создает высокую нагрузку на администраторов и экспертов.

Система призвана автоматизировать проверку предложений на соответствие критериям, обеспечить объективность оценок с помощью современных технологий искусственного интеллекта и создать единое пространство для взаимодействия всех участников процесса.

В системе выделены ключевые роли (стейкхолдеры), каждая из которых имеет свои функциональные интересы:

- Автор предложения: сотрудник предприятия, заинтересованный в быстрой и удобной подаче РП.
- Администратор: ответственный за первичную проверку соответствия формальным критериям.
- Технический совет: председатель и члены совета, принимающие финальное решение и оценивающие новизну.

- Финансовая служба: специалисты, оценивающие экономический эффект от внедрения.
- Разработчики: IT-служба, обеспечивающая стабильность и интеграцию системы

Основные требования к системе сформированы на основе анализа проблем стейкхолдеров:

- Регистрация и подача: удобный интерфейс для онлайн-оформления РП с загрузкой сопутствующих файлов.
- Автоматизированная экспертиза: использование локальных языковых моделей для проверки содержания на уникальность.
- Цифровое голосование: инструмент для принятия коллективных решений членами техсовета.
- Аналитика и отчетность: автоматическая генерация PDF/Docx документов (протоколов, приказов) и оценка экономического эффекта.

На рисунке 1 представлена диаграмма вариантов использования (Use Case), отражающая состав требований к системе.

Система спроектирована как современное веб-приложение с акцентом на безопасность и локальную работу с данными.

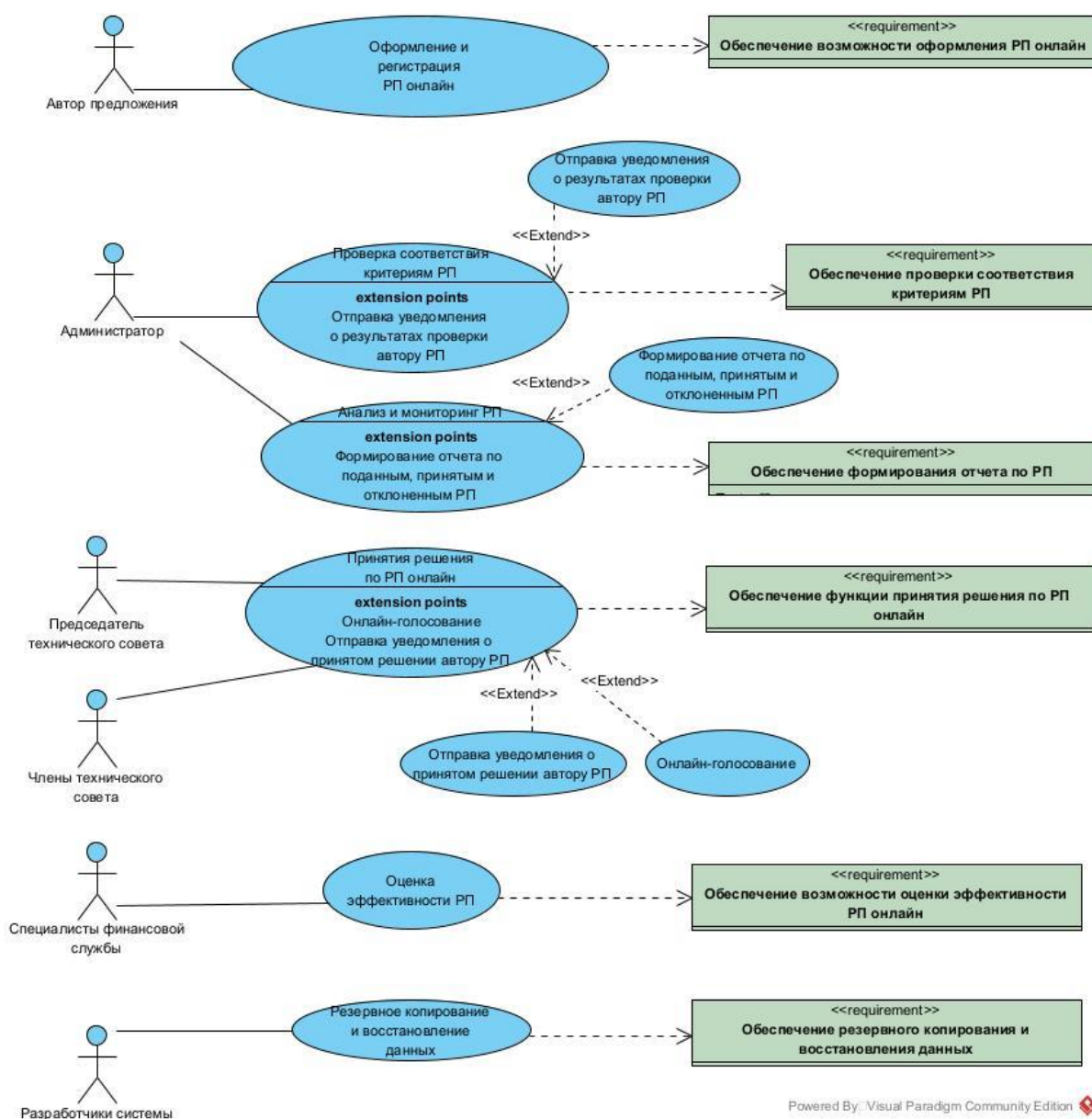


Рисунок 1. Диаграмма вариантов использования, отражающая состав требований к системе

Технологический стек:

Backend: Язык Python. Используются фреймворки FastAPI или Django REST Framework для создания производительного API.

Frontend: Язык TypeScript. Фреймворки React.js или Vue.js для создания отзывчивого пользовательского интерфейса (SPA).

База данных: PostgreSQL версии 15+. Для реализации поиска по

«смыслу» предложений используется расширение pgvector, позволяющее хранить векторные эмбединги.

Искусственный интеллект: Локальная языковая модель Llama 3. Выбор локальной модели обусловлен необходимостью сохранения конфиденциальности интеллектуальной собственности предприятия.

Инфраструктура: Контейнеризация через Docker и Docker Compose для обеспечения идентичности среды разработки и эксплуатации. Веб-сервер Nginx и сервер приложений Gunicorn/Uvicorn.

Дополнительные сервисы: Redis для кэширования и Celery для фоновых задач (например, рассылки уведомлений через Outlook).

На рисунке 2 представлена диаграмма разворачивания компонентов системы.

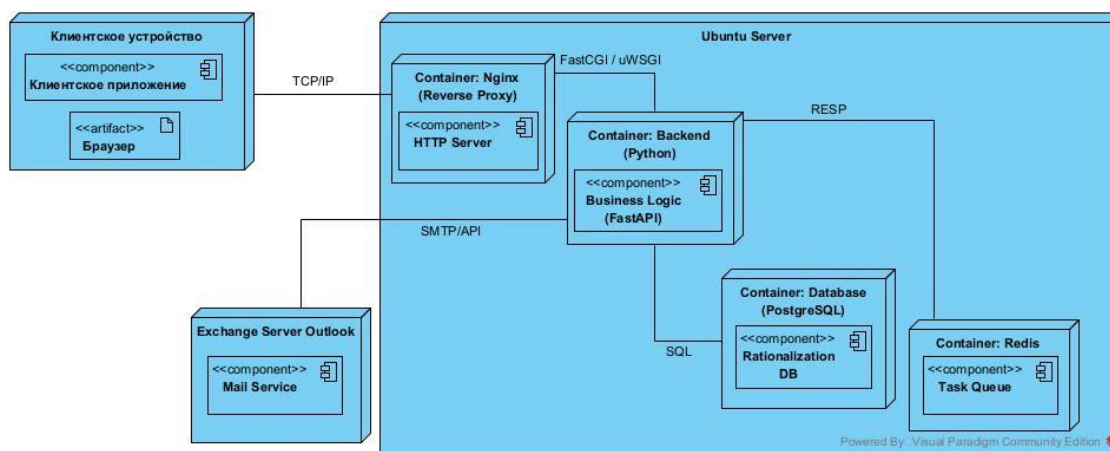


Рисунок 2. Диаграмма разворачивания компонентов системы

Процесс прохождения РП детально описан с помощью диаграмм деятельности (рисунок 3).

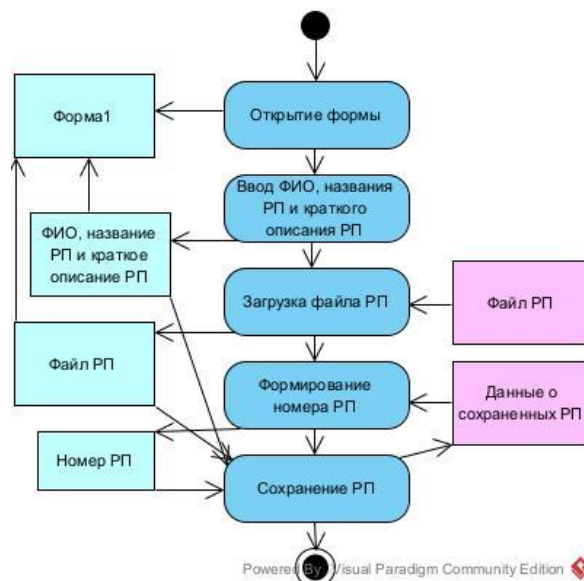


Рисунок 3. Процесс регистрации нового РП

Особое внимание уделено алгоритму проверки на новизну. Система не просто ищет совпадения слов, а использует Llama 3 для семантического анализа (рисунок 4).

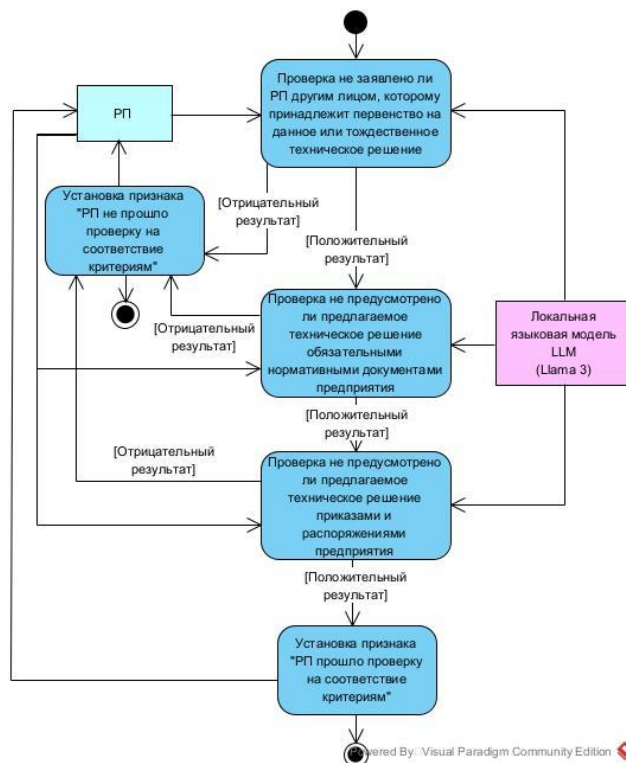


Рисунок 4. Алгоритм проверки критерия «новизна» с применением локальной LLM

Для обеспечения гибкости системы в модуле экспертизы применен паттерн проектирования «Стратегия» (рисунок 5).

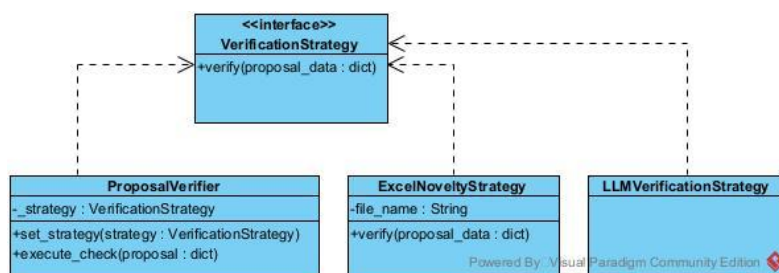


Рисунок 5. Шаблон «Стратегия»

Это позволяет менять алгоритмы проверки (например, переключаться с поиска в Excel на анализ через нейросеть), не затрагивая основной код верификатора.

Пример реализации модуля верификации на языке Python с использованием библиотеки семантического сравнения текста:

```
from abc import ABC, abstractmethod
from fuzzywuzzy import fuzz

# Интерфейс стратегии проверки
class VerificationStrategy(ABC):
    @abstractmethod
    def verify(self, current_proposal: str, database_records: list) -> dict:
        pass

# Конкретная стратегия: Семантический анализ текста
class SemanticNoveltyStrategy(VerificationStrategy):
    def verify(self, current_proposal, database_records):
        max_similarity = 0
        for record in database_records:
            # Сравнение текущего текста с записями в базе данных
```

```
ratio = fuzz.token_sort_ratio(current_proposal, record['text'])
if ratio > max_similarity:
    max_similarity = ratio

# Порог уникальности - 75%
is_unique = max_similarity < 75
return {"is_unique": is_unique, "similarity_score": max_similarity}

# Контекст (Верификатор)
class ProposalVerifier:
    def __init__(self, strategy: VerificationStrategy):
        self._strategy = strategy

    def set_strategy(self, strategy: VerificationStrategy):
        self._strategy = strategy

    def check(self, text, data):
        return self._strategy.verify(text, data)
```

Данные в системе строго структурированы. Выделены следующие ключевые сущности:

- Автор: персональные данные и контактная информация.
- Рацпредложение: метаданные, текущий статус и прикрепленные файлы документов.
- База знаний: векторные представления (эмбединги) для работы ИИ.

На рисунке 6 представлено проектирование пользовательского интерфейса форм регистрации и экспертизы.

<https://urait.ru/book/programmная-inzheneriya-vizualnoe-modelirovanie-programmnyh-sistem> 562413 (дата обращения: 05.09.2026). – Текст : электронный. <https://urait.ru/book/programmная-inzheneriya-vizualnoe-modelirovanie-programmnyh-sistem> 562413

3. Лаврищева, Е. М. Программная инженерия. парадигмы, технологии и case-средства: учебник для вузов / Лаврищева Е. М.. – 2-е изд. – Москва: Юрайт, 2025. – 280 с. – ISBN 978-5-534-01056-5. – URL: <https://urait.ru/book/programmная-inzheneriya-paradigmy-tehnologii-i-case-sredstva-561899> (дата обращения: 05.09.2026). – Текст : электронный. <https://urait.ru/book/programmная-inzheneriya-paradigmy-tehnologii-i-case-sredstva-561899>

УДК 621.391

Напалкин М.Ю.

аспирант 1 курса

Институт компьютерных технологий

и информационной безопасности

Южный федеральный университет

Россия, г. Таганрог

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ ТУННЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Аннотация: В статье рассмотрены современное состояние, ключевые проблемы и перспективные направления развития систем автоматического управления (САУ) туннельными печами для обжига керамического кирпича. Выявлены основные технологические ограничения существующих систем: высокая нелинейность и инерционность объекта, неравномерность температурного поля, дефицит достоверной онлайн-информации о состоянии садки. Проведен критический обзор традиционных (ПИД-регуляторы) и интеллектуальных методов управления. Показано, что интеллектуальные САУ позволяют снизить удельный расход топлива на 10–15% и уменьшить брак на 20–30%.

Ключевые слова: туннельная печь, обжиг кирпича, автоматическое управление, энергоэффективность, нечеткая логика, нейронные сети, цифровой двойник, IIoT.

Napalkin M. Yu.

1st-year postgraduate student

Institute of Computer Technologies and Information Security

Southern Federal University

Russia, Taganrog

MODERN APPROACHES TO AUTOMATION OF TUNNEL FURNACES FOR BURNING CERAMIC BRICKS

Abstract: The article examines the current state, key problems, and promising directions for the development of automatic control systems (ACS) for tunnel furnaces used to burn ceramic bricks. The main technological limitations of existing systems are identified: high nonlinearity and inertia of the object, uneven temperature field, lack of reliable online information about the condition of the cage. A critical review of traditional (PID controllers) and intelligent control methods has been conducted. It is shown that intelligent self-propelled guns can reduce specific fuel consumption by 10-15% and reduce waste by 20-30%.

Keywords: tunnel furnace, brick firing, automatic control, energy efficiency, fuzzy logic, neural networks, digital twin, IIoT.

Туннельные печи являются основным типом тепловых агрегатов в производстве керамического кирпича, обеспечивая непрерывный процесс термообработки. Эффективность работы печи, качество продукции и энергозатраты определяются совершенством САУ [1]. Однако управление туннельной печью остается сложной задачей из-за высокой инерционности тепловых процессов, нестационарности свойств сырца и необходимости поддержания строгого температурного профиля [2]. Традиционные ПИД-регуляторы неспособны полноценно компенсировать возмущения, что ведет к перерасходу топлива и браку [3].

Конструкция и технологический процесс

Туннельная печь — протяженный канал (120–180 м), внутри которого движутся вагонетки с кирпичом-сырцом [4]. Теплоноситель движется противотоком, обеспечивая утилизацию тепла. Печь разделена на три зоны: подогрева (до 700–800°C), обжига (950–1100°C) и охлаждения (до 50–100°C).

Современные конструкции используют модульные корпуса с волокнистыми огнеупорами и однорядную садку [5].

Объект управления

Основные управляемые переменные [6]: температура в зонах, разрежение, скорость вагонеток, расход топлива и воздуха. Управляющие воздействия: положение клапанов, частота вентиляторов, скорость тяги [4]. Основные возмущения: влажность и состав сырья, теплотворность топлива, износ футеровки, плотность садки [2, 3]. Ключевая проблема — отсутствие достоверных данных о температуре внутри садки (термопары измеряют газовую среду) [2].

Традиционные САУ (ПИД-регуляторы)

На большинстве заводов применяются ПИД-регуляторы [3]. Достоинства: простота, надежность, низкая стоимость. Недостатки: неадаптивность, нелинейность объекта, инерционность (запаздывание 15–30 мин). По данным обследования ЗАО «Норский керамический завод», потери с уходящими газами — 37,5%, через кладку — 17,1% [4].

Интеллектуальные методы управления.

Нечеткая логика формализует опыт операторов в виде правил «ЕСЛИ-ТО» [3]. Обеспечивает лучшее качество регулирования, но зависит от экспертной базы правил.

Нейронные сети обучаются на исторических данных, выявляя нелинейные зависимости [8, 9]. Требуют больших объемов данных и не интерпретируемы.

Нейро-нечеткие системы (ANFIS) сочетают интерпретируемость нечеткой логики и обучаемость нейросетей [3, 10]. Обеспечивают снижение ошибки на 35–40%, уменьшение перерегулирования с 12–15% до 3–5% [3].

Тепловой баланс и энергопотери

Таблица 1 — Тепловой баланс туннельной печи [4]

Статья баланса	кВт	%
Приход		
Теплота топлива	6551,5	90,0
Тепло воздуха	567,5	7,8
Тепло изделий	94,1	1,3
Тепло вагонеток	65,0	0,9
Итого	7280,9	100
Расход		
Потери с газами	2730,3	37,5
Разложение известняка	1849,6	25,4
Потери через кладку	1245,3	17,1
Потери с изделиями	266,4	3,7
Потери с вагонетками	250,0	3,4
Испарение влаги	49,4	0,7
Итого	7280,9	100

Суммарные потери — 54,6%. Причина — отсутствие обратной связи по составу газов [4].

Проблемы автоматизации

Отсутствие данных о температуре в садке: перепад по высоте достигает 80–100°С [2]. Износ футеровки вагонеток ухудшает аэродинамику [11]. Ручная настройка режимов ведет к субъективизму и разбросу качества [2, 9].

Адаптивные нейро-нечеткие системы автоматически настраиваются под

текущий режим [3]. Предиктивные регуляторы (МРС) прогнозируют параметры на 1–2 часа. Цифровые двойники позволяют виртуально отлаживать режимы [10]. ПоТ обеспечивает удаленный мониторинг и предиктивную аналитику [10]. Проведем сравнительный анализ.

Таблица 2 — Сравнение САУ

Параметр	ПИД	Нечеткий	Нейро- нечеткий
Точность, °С	±5–7	±3–5	±1–3
Время регулирования	45–60 мин	25–35 мин	15–20 мин
Перерегулирование	10–15%	5–8%	2–4%
Снижение расхода топлива	—	5–8%	10–15%
Снижение брака	—	10–15%	20–30%
Сложность настройки	Средняя	Высокая	Очень высокая

Нейро-нечеткие регуляторы дают лучшие показатели, но требуют затрат на данные и настройку.

Рекомендации

1. Поэтапная модернизация: установка датчиков (температура в садке, состав газов) [4].
2. Применение контроллеров с поддержкой нечеткой логики.
3. Обучение персонала.
4. Интеграция с MES/ERP.
5. Использование предиктивной аналитики [10].

Заключение

САУ туннельных печей эволюционируют от ручного управления к интеллектуальным нейро-нечетким системам. ПИД-регуляторы не справляются с нелинейностью процесса. Нейро-нечеткие регуляторы обеспечивают снижение расхода топлива на 10–15%, брака на 20–30%, повышение точности в 2–3 раза. Дальнейшее развитие связано с цифровыми двойниками и IoT. Ключевое ограничение — дефицит данных о состоянии садки, что требует новых методов контроля (акустическая термометрия, тепловидение).

Использованные источники:

1. Ахтямов, Р. Р. Оптимизированные конструкции футеровок вагонеток для обжига керамического кирпича / Р. Р. Ахтямов // Строительные материалы. — 2016. — № 6. — С. 1–5.
2. Ашмарин, А. Г. Инновационные проекты производства конструктивных и теплоэффективных керамических материалов из местного сырья / А. Г. Ашмарин, Л. Г. Илюхина, В. В. Илюхин, В. В. Курносов // Строительные материалы. — 2017. — № 8. — С. 22–25.
3. Вафин, Д. Б. Тепловое состояние в туннельной печи обжига кирпичей со сводовым расположением горелок / Д. Б. Вафин, А. А. Мукатдаров, Д. А. Мукатдарова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2024. — Т. 26. — № 3. — С. 184–193. — DOI: 10.30724/1998-9903-2024-26-3-184-193.
4. Гнездов, Е. Н. Технологический энергоаудит туннельной печи для обжига керамических изделий / Е. Н. Гнездов, Н. Е. Гнездов, Ю. И. Марченко, Е. А. Пережигин, М. В. Лопатина, М. С. Цветкова // Вестник ИГЭУ. — 2014. — № 5. — С. 14–21.
5. Гнездов, Е. Н. Энергоэффективность и автоматизация туннельных печей для обжига керамического кирпича / Е. Н. Гнездов, Н. Е. Гнездов // Промышленная

энергетика. — 2015. — № 7. — С. 25–29.

6. Иванов, А. В. Цифровые двойники в керамической промышленности: состояние и перспективы / А. В. Иванов, С. В. Петров // Стекло и керамика. — 2022. — № 5. — С. 38–42.

7. Ключников, А. С. Математическая модель туннельной печи для обжига керамических изделий для системы автоматического управления / А. С. Ключников // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2014. — № 2. — С. 1–8.

8. Курносов, В. В. Совершенствование технологии обжига керамического кирпича в кольцевых печах / В. В. Курносов, В. Р. Тихонова // Строительные материалы. — 2018. — № 4. — С. 29–31.

9. Development of an Adaptive Fuzzy-Neural Controller for Temperature Control in a Brick Tunnel Kiln // Electronics. — 2024. — Vol. 13. — No. 2. — P. 342.

10. Intelligent optimal control method and device for sintered brick tunnel kiln roasting process : пат. CN105241239В Китай. — 2017.

УДК 004.02

Трахимчик Д.А.

студент

Байрамов Д.А.

студент

***Гродненский Государственный
университет имени Янки Купалы***

Беларусь, Гродно

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ НЕОДНОРОДНОЙ
СРЕДЫ**

Аннотация: Рассматривается разработка программного обеспечения для численного моделирования теплопроводности в неоднородных средах. Предложена архитектура программы на C# с использованием метода конечных разностей для решения уравнения теплопроводности с переменными коэффициентами. Описаны основные функциональные модули и подходы к визуализации результатов.

Trakhimchyk D.A.

Student

Bayramov D.A.

Student

Yanka Kupala State University of Grodno

Belarus, Grodno

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PRODUCT FOR MODELING
THERMAL CONDUCTIVITY FOR AN INHOMOGENEOUS MEDIUM**

Abstract: The development of software for numerical modeling of thermal conductivity in inhomogeneous media is considered. The architecture of the program in C# using the finite difference method for solving the heat equation with variable coefficients is proposed. The main functional modules and approaches to visualization of results are described.

Ключевые слова: теплопроводность, неоднородная среда, численное моделирование, метод конечных разностей, программное обеспечение, C#, уравнение теплопроводности.

Keywords: thermal conductivity, inhomogeneous medium, numerical modeling, finite difference method, software, C#, heat equation.

Задачи, связанные с моделированием теплопроводности, являются одними из ключевых в современной науке и инженерных разработках. Понимание закономерностей переноса тепла требуется при возведении зданий, вычислении параметров изолирующих слоёв, оценке термических режимов функционирования радиоэлектронных компонентов, а также при проведении геофизических изысканий. Среди широкого круга подобных вопросов отдельно выделяются ситуации с неоднородным строением материала, где такие величины, как коэффициент теплопроводности, удельная теплоёмкость и плотность, претерпевают изменения от точки к точке. Получить аналитическое решение в виде явной формулы для таких систем в подавляющем большинстве случаев не представляется возможным, и поэтому возникает объективная потребность в обращении к численным подходам и создании соответствующего вычислительного инструментария [1, 2, 6].

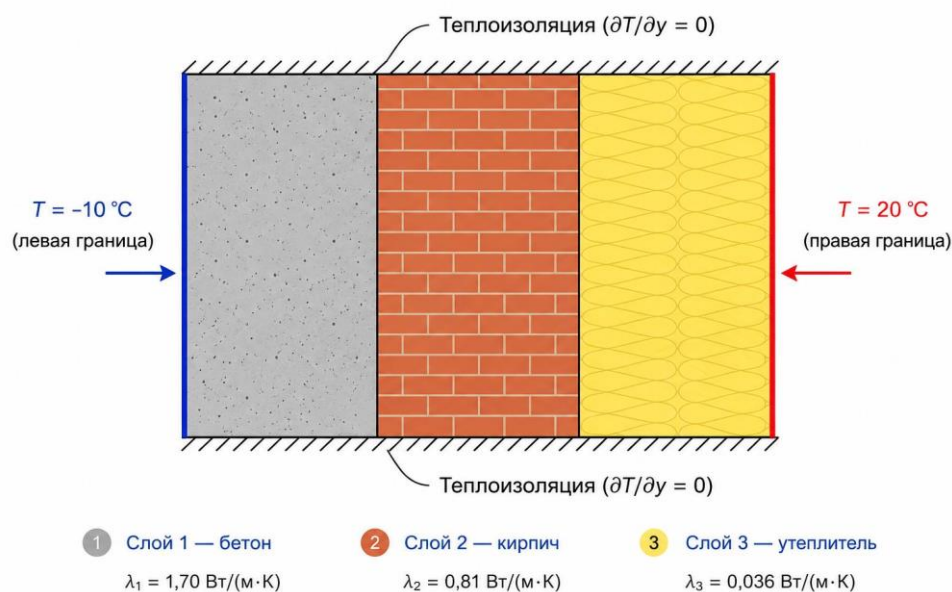
Современная вычислительная техника и существующие языки разработки ПО предоставляют все необходимые ресурсы для построения результативных алгоритмов расчёта тепловых полей. В частности, экосистема .NET вместе с языком C# обладают развитыми средствами

конструирования графических приложений, что делает их удобной платформой для воплощения подобных проектов. В настоящей работе описывается общая схема программного комплекса, предназначенного для решения двумерной нестационарной задачи теплопроводности применительно к пространственно-неоднородным объектам.

Математическое описание переноса тепла в среде с неоднородными свойствами базируется на уравнении теплопроводности, которое относится к классу дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа. Применительно к двумерной постановке данное уравнение записывается следующим образом [4]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x, y) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(x, y) \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + f(x, y, t), \quad (1)$$

где $T(x, y, t)$ представляет собой температуру в произвольной точке области с координатами (x, y) в момент времени t ; $k(x, y)$ — коэффициент теплопроводности материала, величина которого зависит от пространственного положения; $f(x, y, t)$ — функция, описывающая интенсивность внутренних источников тепла.



Главная трудность при решении (1) связана с тем, что параметр k не остаётся постоянным, а варьируется в зависимости от координат. Данное обстоятельство отражает реальное строение неоднородных объектов.

Для того чтобы решение уравнения (1) было единственным, необходимо дополнить его начальным условием, определяющим распределение температуры в начальный момент времени, а также граничными условиями на контуре расчётной области. Предусматриваются три возможных типа граничных условий: условие первого рода (на границе фиксируется температура), второго рода (задаётся величина теплового потока) и третьего рода (моделируется конвективный теплообмен с внешней средой). В рамках создаваемого программного продукта планируется поддержка всех трёх типов, что обеспечит возможность решения широкого круга прикладных задач.

В качестве численного подхода к решению сформулированной задачи выбран метод конечных разностей [1, 2, 6]. Этот выбор обусловлен сравнительной простотой алгоритмической реализации и наглядностью получаемых результатов, что особенно важно при использовании продукта в учебных целях. Идея метода состоит в переходе от непрерывной области к её дискретному аналогу — равномерной или неравномерной сетке, состоящей из конечного числа узлов. В каждом узле сетки частные производные, входящие в дифференциальное уравнение, приближённо заменяются их конечно-разностными выражениями.

При построении разностной схемы для двумерной задачи с переменным коэффициентом теплопроводности пространственные производные аппроксимируются через значения температуры в соседних узлах с использованием центрально-разностного шаблона, что обеспечивает второй порядок точности по пространству. Интегрирование по времени может выполняться как по явной, так и по неявной схеме. Явный подход отличается простотой программной реализации, однако требует соблюдения условия

устойчивости Куранта, ограничивающего максимально допустимый шаг по времени. Неявная схема свободна от таких ограничений, но связана с необходимостью решения системы линейных алгебраических уравнений на каждом временном слое, что повышает вычислительные затраты.

В создаваемом программном комплексе предполагается реализация обеих разностных схем с возможностью выбора пользователем. При использовании неявной схемы будет задействован метод прогонки (алгоритм Томаса) после сведения исходной двумерной задачи к последовательности одномерных вдоль координатных направлений — так называемый метод переменных направлений. Данный приём значительно упрощает вычислительную процедуру.

Реализация программного комплекса осуществляется на языке C# в среде Microsoft Visual Studio [5]. Выбор обусловлен объектно-ориентированной парадигмой языка, богатством стандартной библиотеки классов и наличием развитых средств построения графического интерфейса на базе Windows Forms или WPF.

Структура программного продукта строится по модульному принципу. Выделены следующие основные блоки:

Модуль подготовки исходных данных обеспечивает ввод геометрии расчётной области, теплофизических свойств материалов, начальных и граничных условий. Реализован через графический интерфейс или загрузку конфигурационных файлов.

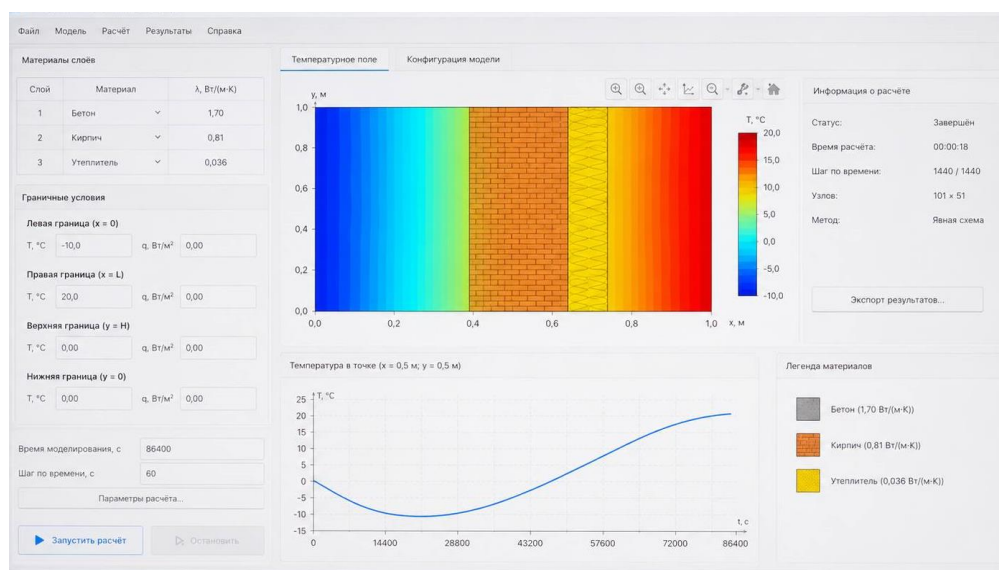
Модуль генерации сетки формирует дискретное представление области. Предусмотрена возможность построения как регулярной, так и нерегулярной сетки с локальным сгущением в зонах с резким изменением свойств.

Вычислительное ядро содержит конечно-разностные алгоритмы решения уравнения теплопроводности, включая явную и неявную схемы. Для ускорения расчётов предусмотрено распараллеливание с использованием Task

Parallel Library.

Модуль визуализации обеспечивает отображение температурных полей в виде цветowych карт, графиков изменения температуры в заданных точках, а также анимацию нестационарных процессов.

Модуль экспорта данных позволяет сохранять численные результаты в текстовых файлах и CSV, а также выгружать графические изображения в форматах PNG и JPEG.



Связь между модулями организуется через систему интерфейсов, что обеспечивает гибкость архитектуры и позволяет модифицировать отдельные компоненты без необходимости полной перестройки программы.

В работе рассмотрены ключевые аспекты создания программного комплекса для численного анализа теплопроводности в гетерогенных средах: приведена математическая постановка, обоснован выбор конечно-разностного подхода и описана модульная структура на C#. Связь между модулями через интерфейсы обеспечивает гибкость архитектуры и упрощает модификацию.

Особый интерес представляет педагогический потенциал продукта. Визуализация в реальном времени, возможность изменять параметры среды и наглядно сравнивать схемы помогают студентам глубже понять физику процессов и освоить численные методы. Такой подход облегчает восприятие

теории, повышает мотивацию и формирует практические навыки работы с современным ПО. Знакомство с C# даёт опыт объектно-ориентированного проектирования, полезный в дальнейшем.

Модульность архитектуры открывает возможности для адаптации системы под разные задачи. В перспективе — расширение функциональности, оптимизация алгоритмов и улучшение интерфейса. Продукт может применяться как в обучении, так и в инженерных расчётах [1—4, 6].

Использованные источники:

1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. — М.: Изд-во МГУ, 1999. — 798 с. — ISBN 5-211-04138-1.
2. Самарский А.А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1989. — 616 с. — ISBN 5-02-013842-7.
3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 152 с. — ISBN 5-283-00004-9.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1967. — 600 с. (ISBN не присвоен).
5. Троелсен Э., Япиксе П. Язык программирования C# 10 и платформа .NET 6. — М.: Вильямс, 2022. — 1360 с. — ISBN 978-5-907515-48-6.
6. Калиткин Н.Н. Численные методы. — М.: Наука, 1978. — 512 с. — ISBN 5-02-013850-8.

УДК: 662.7: 662.6/.9

Юсупов Р.А.

доктор философии по техническим наукам (PhD)

соискатель

Ташкентский химико-технологический институт

Исаматова Д.Н.

доктор философии по техническим наукам (PhD),

начальник отдела контроля за качеством образования

отдела контроля за качеством образования Филиала РГУ нефти и газа

(НИУ) имени И.М. Губкина в городе Ташкенте

Исмаилов О.Ю.

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

Институт общей и неорганической химии АН РУз

Узбекистан, г. Ташкент

Саттаров З.М.

кандидат технических наук, профессор

Ташкентский архитектурно-строительный университет

Узбекистан, г. Ташкент

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НА СРЕДНЮЮ РАЗНОСТЬ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Аннотация:

В работе исследовано влияние конструктивных особенностей кожухотрубчатого теплообменного аппарата на среднюю разность температур при нагреве углеводородного сырья. В качестве холодного теплоносителя использовались нефть и газовый конденсат, горячего — общая нефтя. Исследования проводились при противоточном движении

теплоносителей и расходе горячего потока 10–20 л/мин. Рассмотрены четыре варианта конструкции аппарата: традиционная, со стержневым интенсификатором, с закручиванием горячего потока и с одновременным применением стержня и закрученного движения. Установлено, что конструктивная модификация теплообменника повышает среднюю разность температур и способствует интенсификации теплообмена. Наиболее эффективным является совместное использование стержня и закрученного движения потока.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, средняя разность температур, теплопередача, интенсификация теплообмена, закрученный поток, стержневой интенсификатор, нефть, газовый конденсат.

Yusupov R.A.

***doctor of Philosophy of Engineering Sciences (PhD)
applicant at the Tashkent Institute of Chemical Technology***

Isamatova D.N.

***doctor of Philosophy of Technical Sciences (PhD)
Head of the Department of Quality Control of Education at Gubkin Russian
State University of Oil and Gas (SRU) in Tashkent***

Ismailov O.Yu.

***doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan***

Sattorov Z.M.

***candidate of Technical Sciences, Professor
Tashkent University of Architecture and Civil Engineering
Uzbekistan, Tashkent***

INFLUENCE OF DESIGN MODIFICATIONS OF A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER ON THE MEAN TEMPERATURE DIFFERENCE OF HEAT TRANSFER FLUIDS

Abstract:

The study investigates the effect of design features of a shell-and-tube heat exchanger on the mean temperature difference during the heating of hydrocarbon feedstock. Oil and gas condensate were used as the cold heat-transfer fluids, while straight-run naphtha was used as the hot heat-transfer fluid. The experiments were conducted under counter-current flow conditions with a hot-fluid flow rate of 10–20 L/min. Four heat exchanger designs were considered: a conventional design, a design with a rod-type heat transfer intensifier, a design with swirling flow of the hot fluid, and a design combining a rod-type intensifier with swirling flow. It was established that modification of the heat exchanger design increases the mean temperature difference and enhances heat transfer. The combined use of the rod-type intensifier and swirling flow demonstrated the highest efficiency.

Keywords: heat exchanger, mean temperature difference, heat transfer, heat transfer enhancement, swirling flow, rod-type intensifier, oil, gas condensate.

Известно, что при проведении тепловой обработки теплоносителей наиболее эффективным является их противоточное движение. В связи с этим в проведённых экспериментальных исследованиях движение холодного потока (нефти, газового конденсата) и горячего потока (общей нефти) осуществлялось в противоположных направлениях. При этом холодный поток подавался в трубную часть кожухотрубчатого теплообменного аппарата, а движение горячего потока обеспечивалось в межтрубном пространстве аппарата.

Эффективность процесса определяется на основе средней разности температур, исходя из температур горячего и холодного потоков.

Модель определения средней разности температур при противоточном движении теплоносителей представлена на рисунке 1.

При противоточном движении теплоносителей средняя движущая сила процесса теплопередачи определяется следующим образом: [1; стр.330-338].

Если $\frac{\Delta t_{\text{кат}}}{\Delta t_{\text{кич}}} \leq 2$, то средняя разность температур определяется следующим образом:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{кат}} + \Delta t_{\text{кич}}}{2} \quad (1)$$

Если $\frac{\Delta t_{\text{кат}}}{\Delta t_{\text{кич}}} > 2$, то средняя разность температур определяется следующим образом:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{кат}} - \Delta t_{\text{кич}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{кат}}}{\Delta t_{\text{кич}}}\right)} \quad (2)$$

где, $\Delta t_{\text{кат}} = t_{16} - t_{20}$ и

$\Delta t_{\text{кич}} = t_{10} - t_{26}$ разности температур на входе и выходе из теплообменного аппарата соответственно. Погрешность расчётов по данной формуле не превышает 3 %.

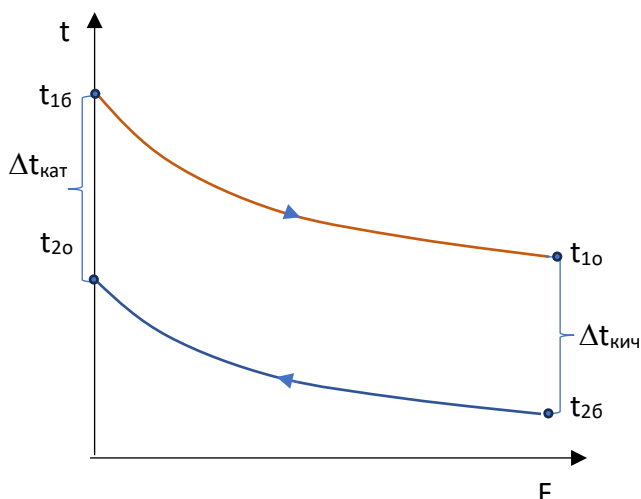
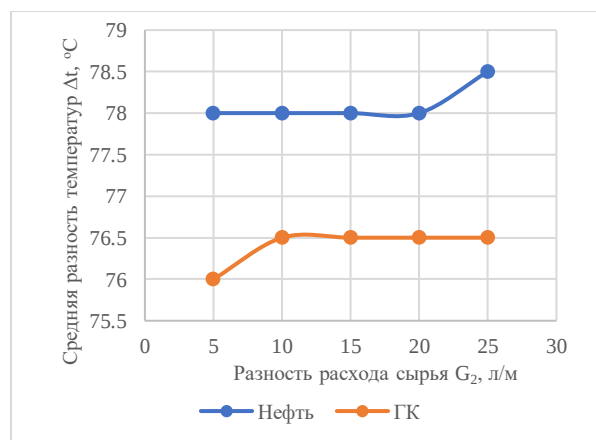
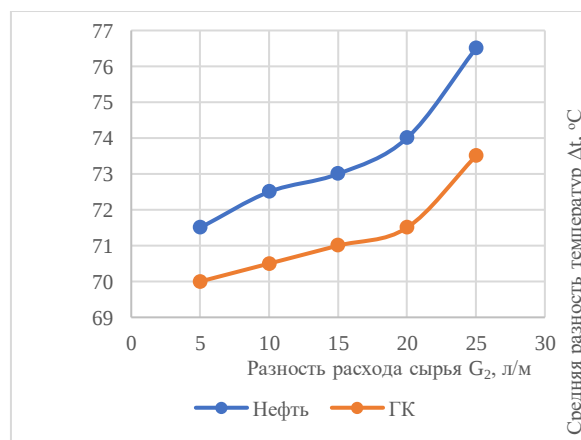


Рис.1. Модель определения средней разности температур

Экспериментальные и расчётные результаты определения средней разности температур в процессе теплообмена представлены на рисунке 2.



а)



б)

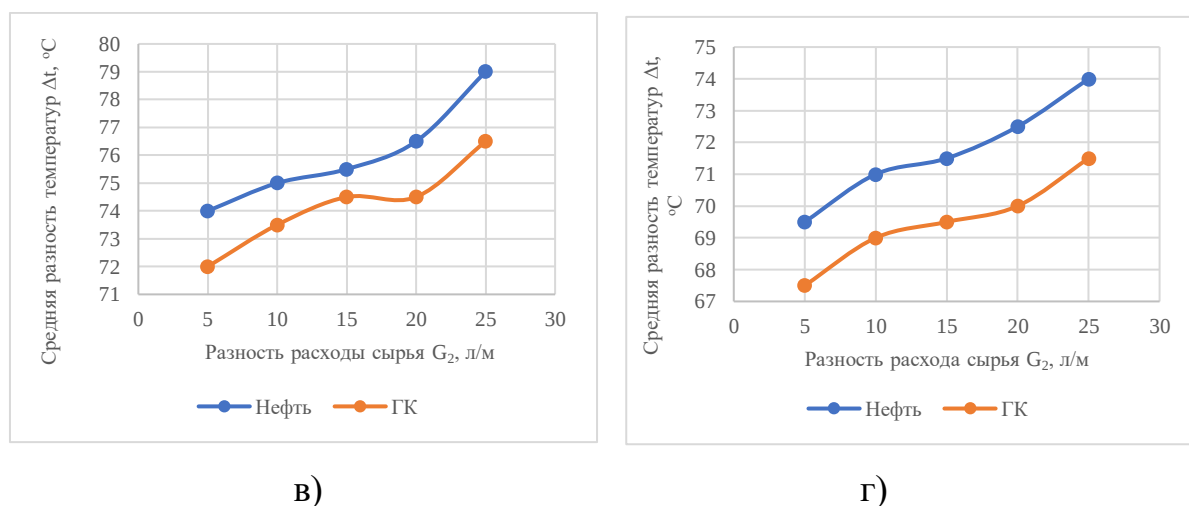


Рис.2. Диаграмма изменения средней разности температур в зависимости от расхода нагреваемого сырья: а) традиционная конструкция аппарата; б) конструкция со стержневым интенсификатором; в) конструкция с обычной трубой и закрученным движением горячего потока; г) конструкция со стержневым интенсификатором и закрученным движением горячего потока.

На основании полученных экспериментальных результатов расход горячего теплоносителя (общей нефти) в процессе, исходя из условий предприятия, был принят в диапазоне $G = 10\text{--}20$ л/мин.

Использованные источники:

1. Товажнянский Л. Л., Бухкало С. И. Процессы и аппараты химической технологии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – 530 с.
2. Исмаилов О.Ю., Хурмамамов А.М., Юсупов Р.А., Исаматова Д. Н. Қобик қувурли қурималарда конденсация жараёни самарадорлигини ошириш. Science and innovation international scientific journal. Volume 2 ISSUE 6 June 2023 UIF-2022: 8.2 | ISSN: 2181-3337 | SCIENTISTS.UZ <https://doi.org/10.5281/zenodo.8033657> стр. 162-171

Оглавление

Изанбаев М.А., АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ	3
Каменская А.А., РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС- ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИМ ПРЕДЛОЖЕНИЯМ	7
Напалкин М.Ю., СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ ТУННЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА	17
Трахимчик Д.А., Байрамов Д.А., РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ	24
Юсупов Р.А., Исаматова Д.Н., Исмаилов О.Ю., Саттаров З.М., ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НА СРЕДНЮЮ РАЗНОСТЬ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ	31

Научное издание

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Материалы международной научно-практической конференции
9 сентября 2026

Статьи публикуются в авторской редакции
Ответственный редактор Смирнова Т.В.
Компьютерная верстка Чернышова О.А.