ГУАП ДНИТ УГНТУ ИЭЭ РАН ЮЗГУ

XX Международная научно-техническая
конференция по электромеханике и робототехнике

Завалишинские чтения

Санкт-Петербург, Россия
15-16 апреля 2025 г.

Завалишинские
чтения

ПЭК

ТЕПЛОСЕТЬ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Практический опыт применения телеуправляемых робототехнических комплексов для внутритритрубной диагностики тепловых сетей

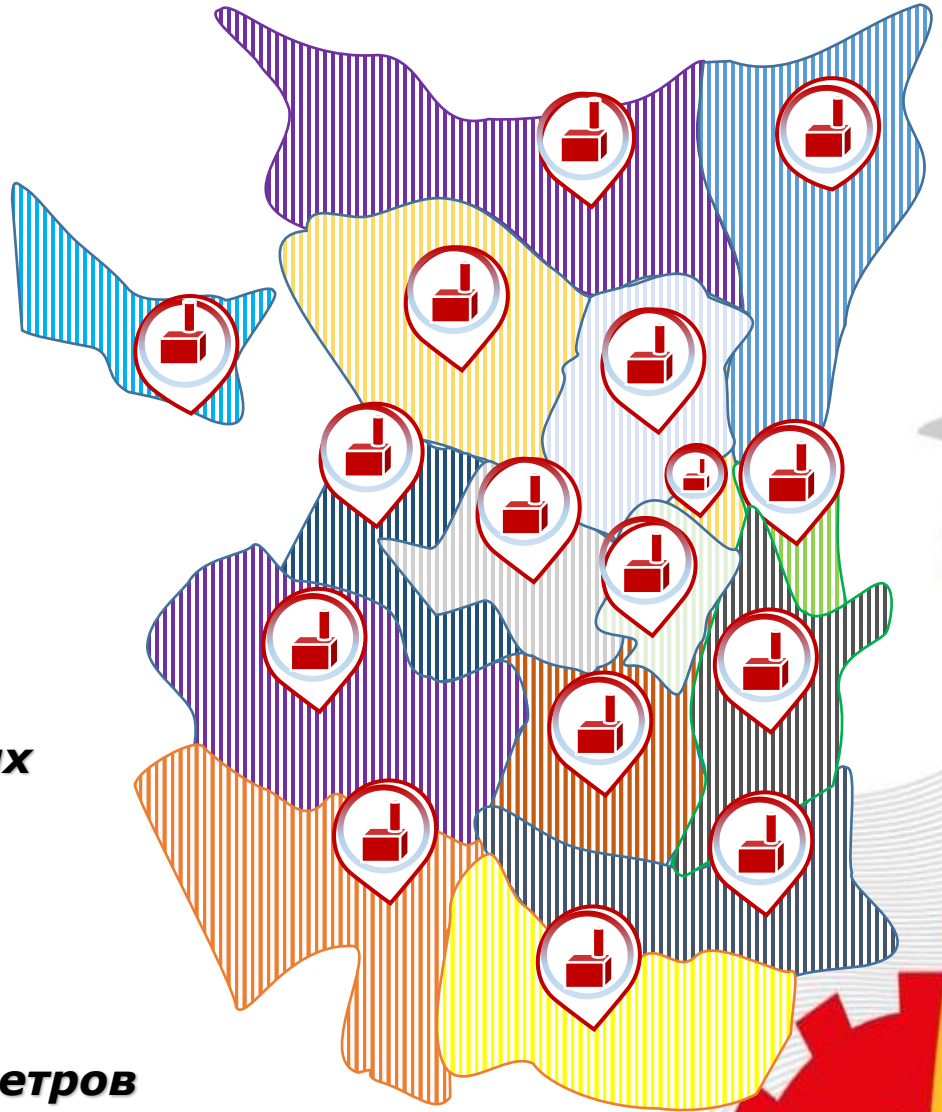
Общая информация о группе компаний АО «ТЭК СПб»

ТЭК
ТЕПЛОСЕТЬ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

География обслуживания:

17 - *Административных районов г. Санкт-Петербурга*

4 - *района Ленинградской области*



- **270** *котельных*
- *11 ТЭЦ*

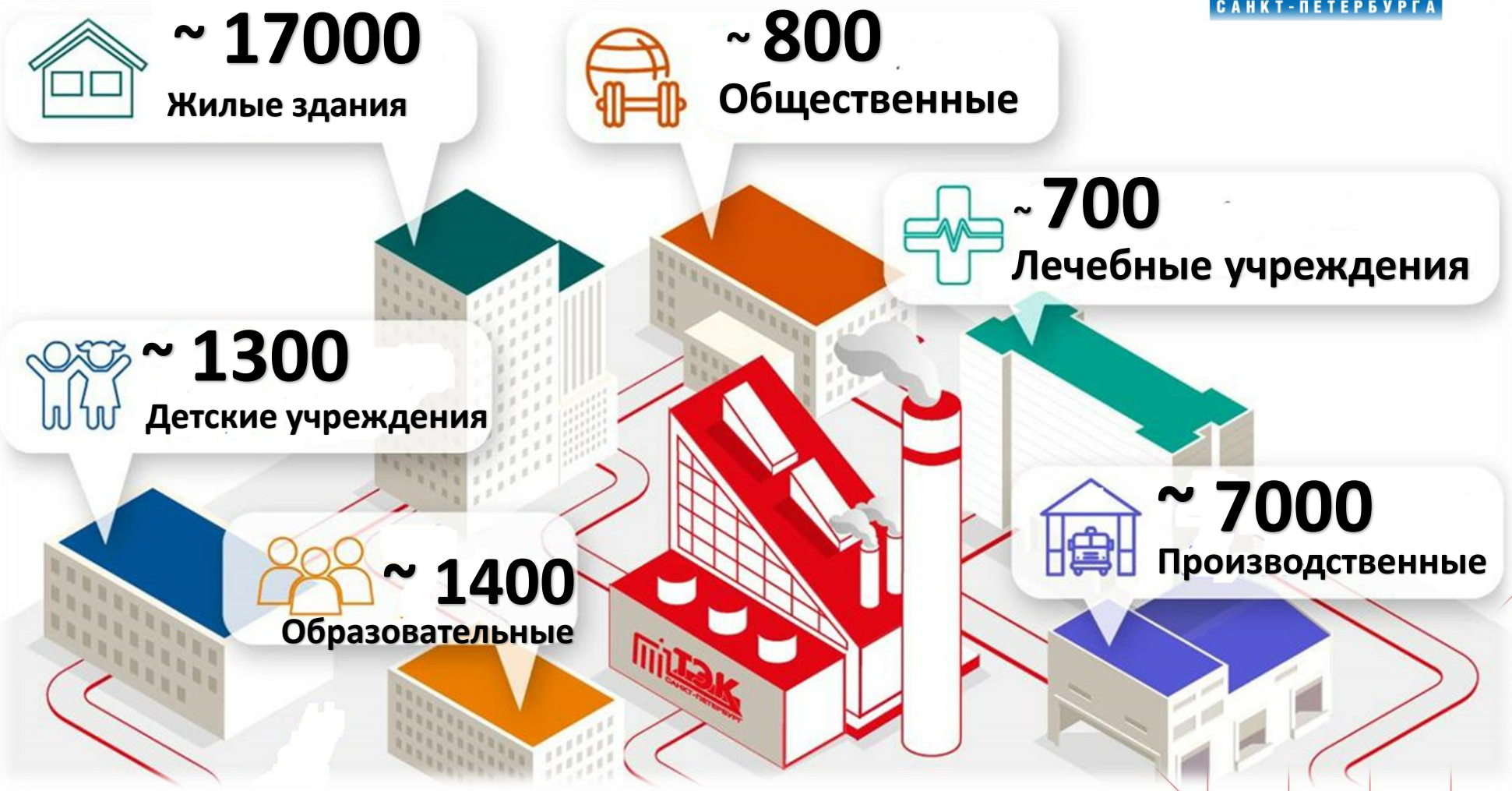
(в зоне ТГК-1)

~ 7500 *километров трубопроводов*

Общая информация о группе компаний АО «ТЭК СПб»

Количество жителей:

~ 6 000 тыс.



Повышение надёжности теплопроводов

- гидравлические испытания тепловых сетей на прочность и плотность. Устранение повреждений;
- испытания тепловых сетей на максимальную температуру; Устранение повреждений;
- реконструкция потенциально-опасных участков;

Наша работа касается каждого

- **внутритрубная диагностика;**
- **ремонт тепловых сетей по результатам диагностики;**
- непрерывный мониторинг (акустические датчики);
- инфракрасная аэрофотосъёмка тепловых сетей с использованием беспилотных летательных аппаратов.
- организационные мероприятия: плавное регулирование, стабильный гидравлический режим.

Повышение надёжности теплопроводов

Цель внедрения и развития ВТД

Определение остаточного ресурса *металла трубопровода тепловой сети.*

Решаемые задачи:

Получение достоверной информации о фактической толщине металла трубопроводов наиболее экономичным способом;

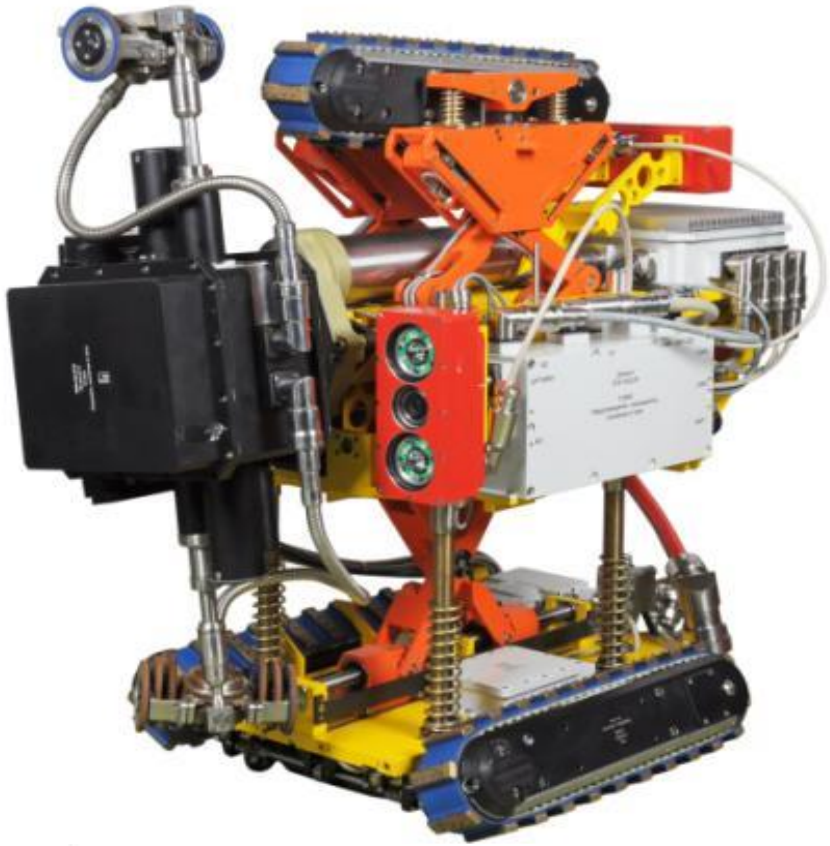
Снижение затрат на техническое освидетельствование (и диагностику) (в т.ч шурфовки) и экспертизу промышленной безопасности;

Повышение надёжности теплопроводов до внедрения робототехнических комплексов

Замеры толщины стенки специалистом по неразрушающему контролю внутри трубопровода

Телеуправляемые диагностические комплексы

ПТЭК
ТЕПЛОСЕТЬ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА



Этапы развития технологий и оборудования

Пилотный проект по внутритрубной диагностике тепловых сетей в РФ (Санкт-Петербург) с ультразвуковыми датчиками

2009

Создание 16-ти канального ДСС-модуля для повышения производительности

2013

2014 2019 2024

Разработка магнитного метода, модернизация метода и создание беспроводной технологии контроля с колесным приводом

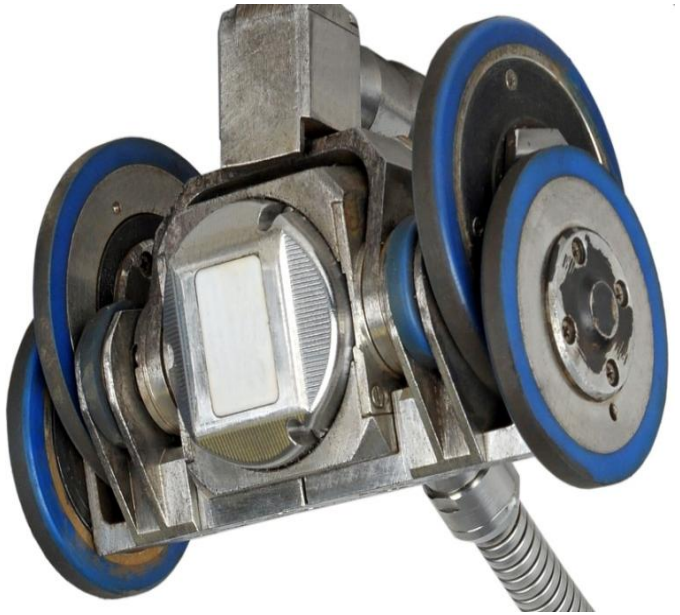
Этапы развития технологий и оборудования

2010-2013

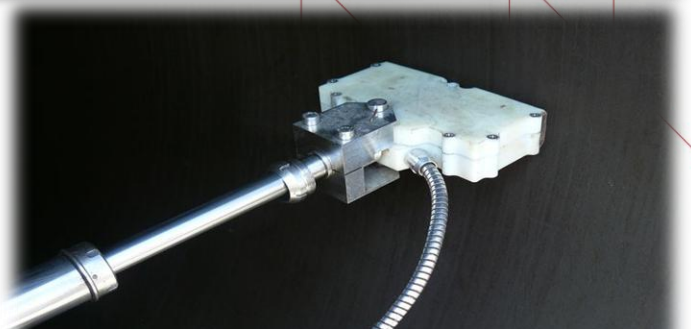
Использование ЭМА - датчиков

Основная проблема ЭМА контроля:
Облипания датчиков контроля, коррозионными отложениями

Беспроводная очистка (пассивный скребок)



Использование лазерного профилометра



Использование метода динамического скин-слоя (ДСС)

Этапы развития технологий и оборудования

2012-2015

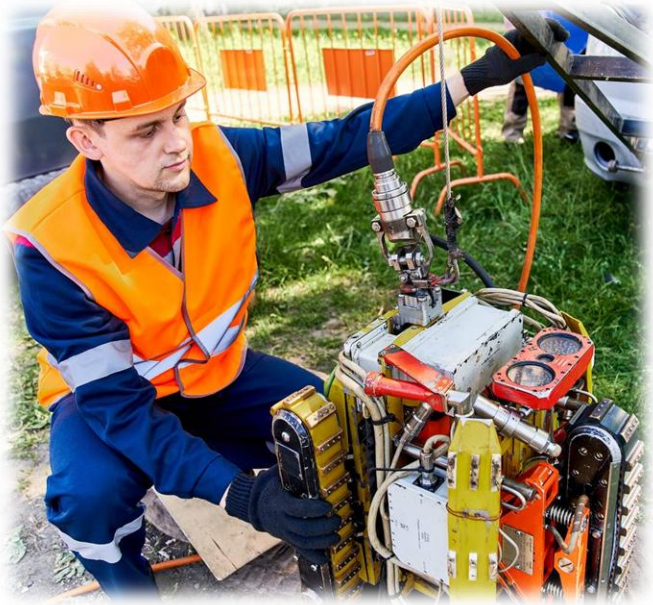
Гидродинамическая очистка внутренней поверхности трубопровода от отложений

Механическая очистка трубопровода от внутренних отложений

Техническое решение для диагностики тепловых сетей

ПЭК

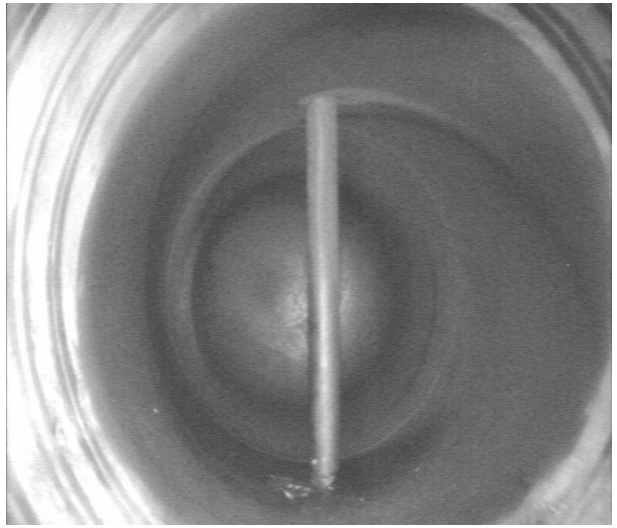
ТЕПЛОСЕТЬ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА



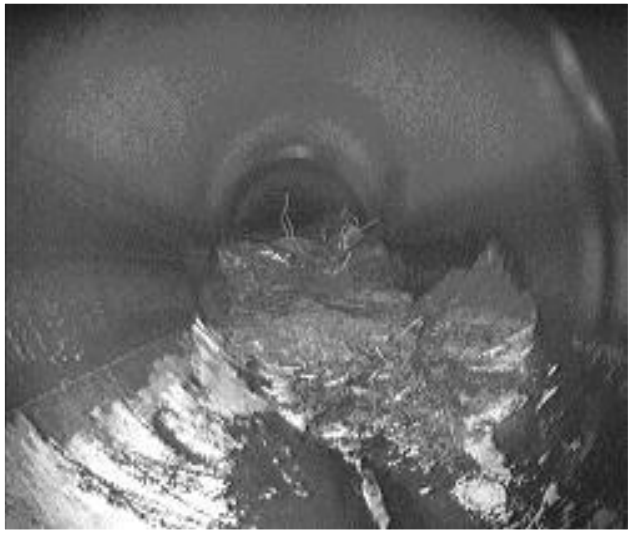
Визуально-измерительный контроль

ПТЭК
ТЕПЛОСЕТЬ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

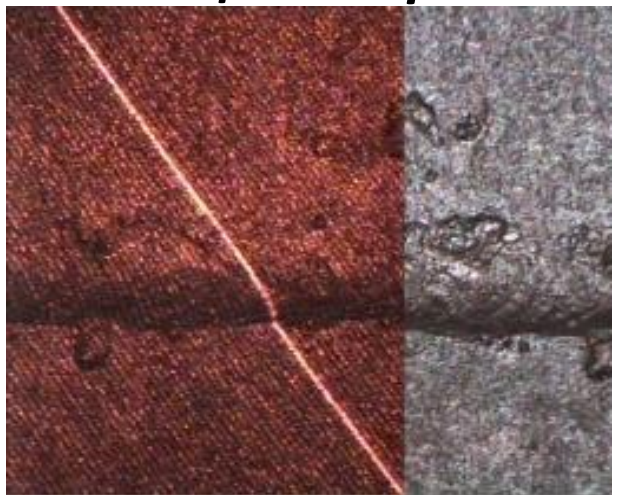
Дренажная врезка



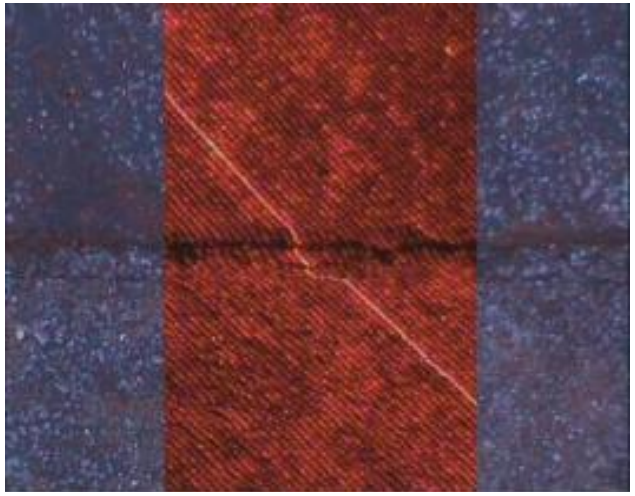
Загрязнения



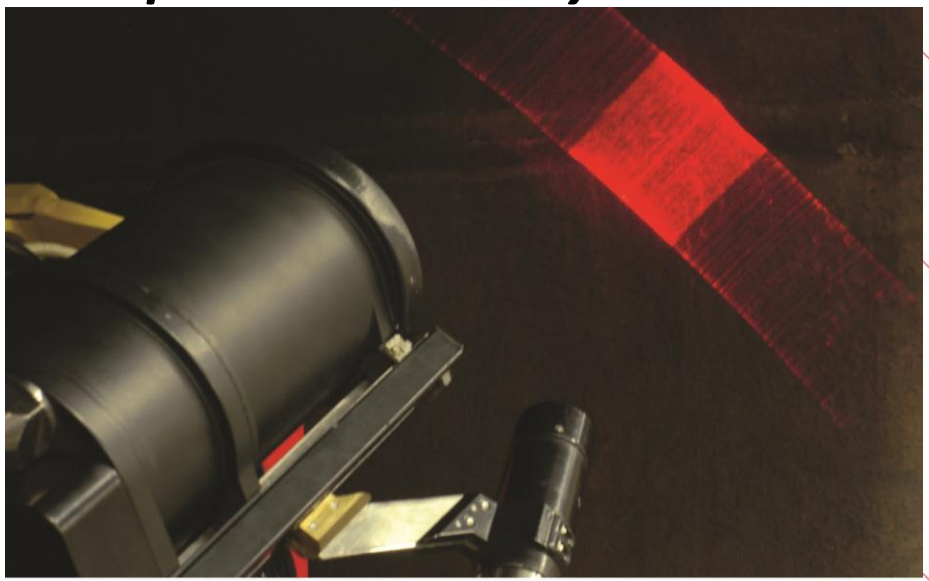
Смещение кромок



Непровар корня



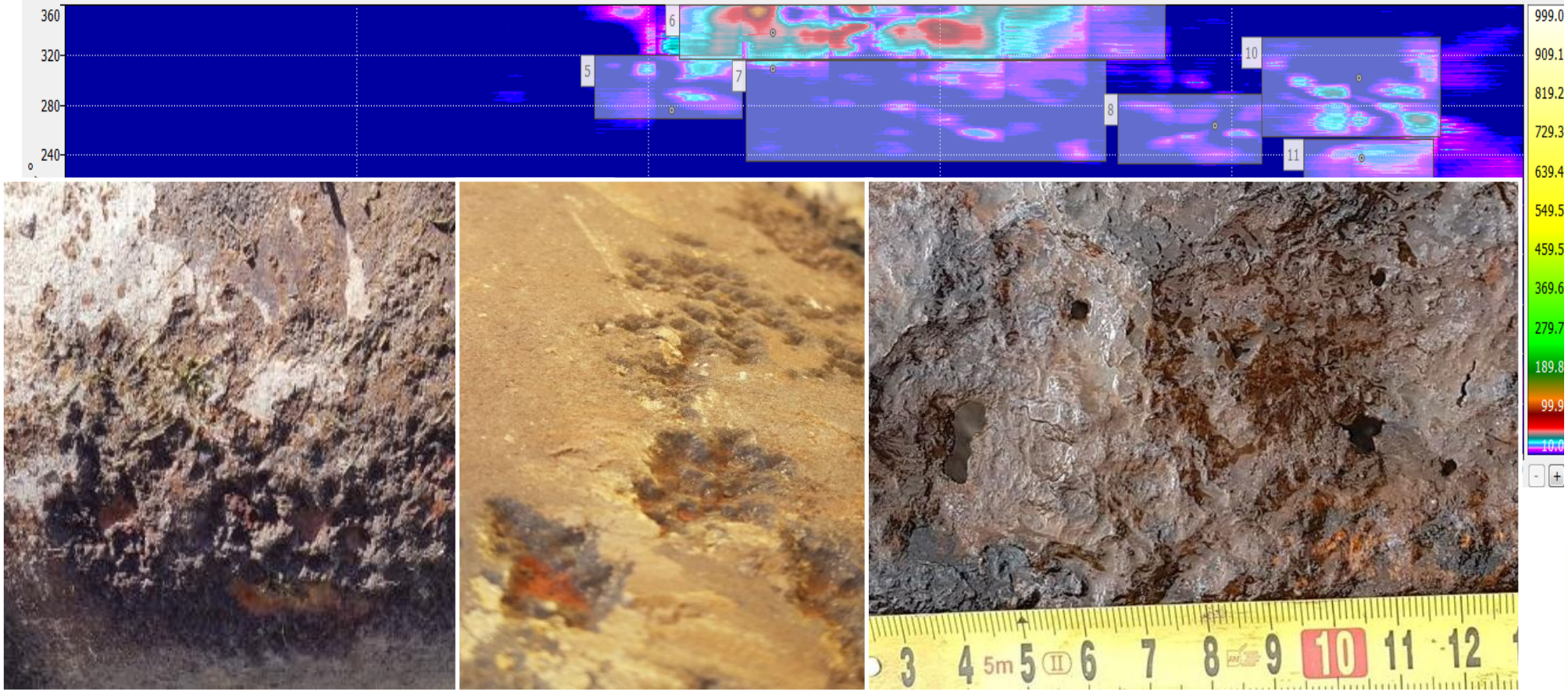
Лазерный зонд модуля ВИК



Характеристики модуля ВИК:

- минимальный размер дефекта **0,5 мм;**
- диапазон измерения глубины **2,0÷10,0 мм**
- погрешность измерений **±0,3 мм**

Магнитный метод контроля



- ✓Сплошное сканирование поверхности трубопровода
- ✓Выполнение контроля без удаления внутренних отложений
- ✓Выявление местной неравномерной, язвенной, сквозной коррозии через слой отложений толщиной до 15 мм

История разработки и совершенствования методов внутритрубной диагностики

Распоряжением № 103 от 28 мая 2020 г Комитета по энергетике и инженерному обеспечению Санкт-Петербурга одобрен и рекомендован к применению на территории Санкт-Петербурга региональный методический документ «Внутритрубное диагностирование трубопроводов тепловых сетей» (РМД по ВТД), разработанный Университетом ИТМО совместно с Акционерным обществом «Диаконт».

Видение цифровой трансформации в теплоснабжении (согласно данным Министерства энергетики РФ)

ПТЭК
ТЕПЛОСЕТЬ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

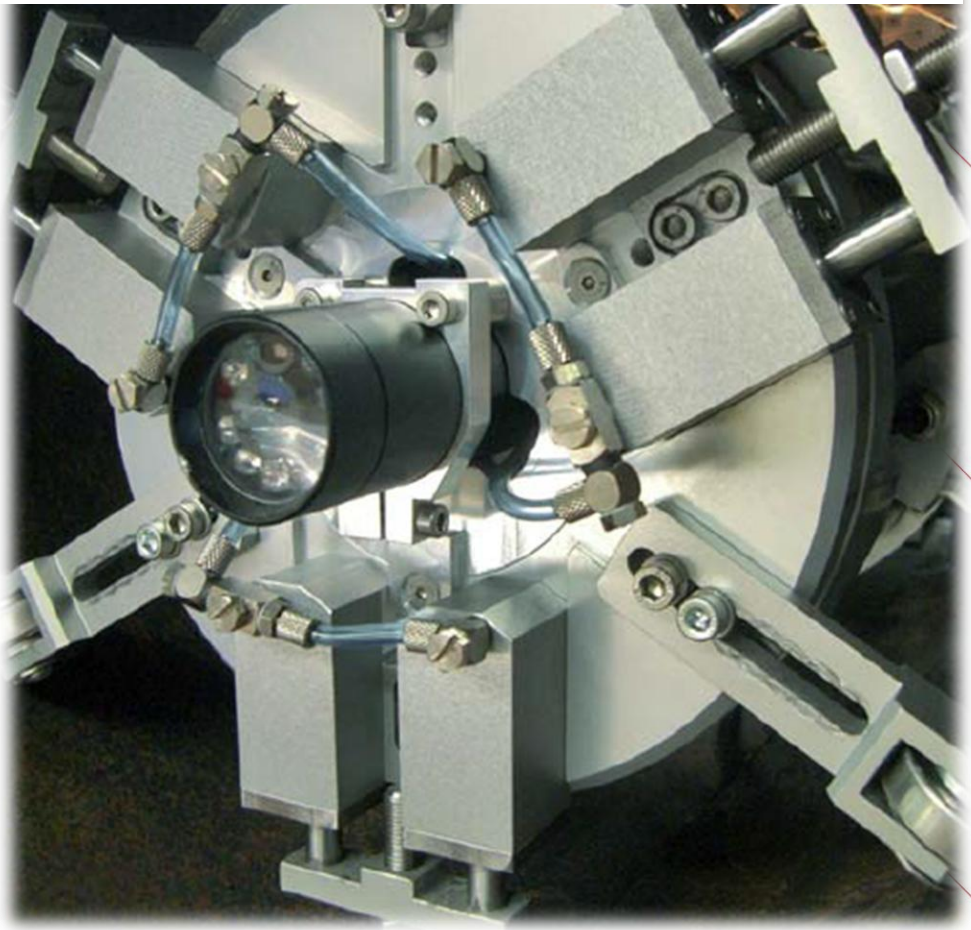
Переход на ремонт оборудования по состоянию	Автоматизация обслуживания клиентов	Роботизация процессов диагностики и ремонта оборудования	Внедрение цифровых двойников	Автоматизация процессов управления и планирования в отрасли
Снижение затрат на аварийные ремонты Увеличение срока службы оборудования	Сокращение времени обработки заявок и повышение удовлетворенности потребителей Снижение нагрузки на операторов колл-центров	Повышение точности диагностики Уменьшение времени простоя оборудования	Возможность тестирования режимов работы оборудования без риска для реальной системы Оптимизация энергопотребления и снижение эксплуатационных расходов	на 40% сокращение времени на разработку и утверждение схем теплоснабжения на 40% повышение качества схем теплоснабжения

Создание испытательного стенда для робототехнических комплексов

Испытательный стенд: Комплексной оценки работоспособности диагностического оборудования по нормативам **(КОРДОН)**

Испытательный стенд «КОРДОН» АО «ТЭК СПб»

Комплексная проверка робототехнических комплексов для диагностики тепловых сетей любого назначения и конфигурации

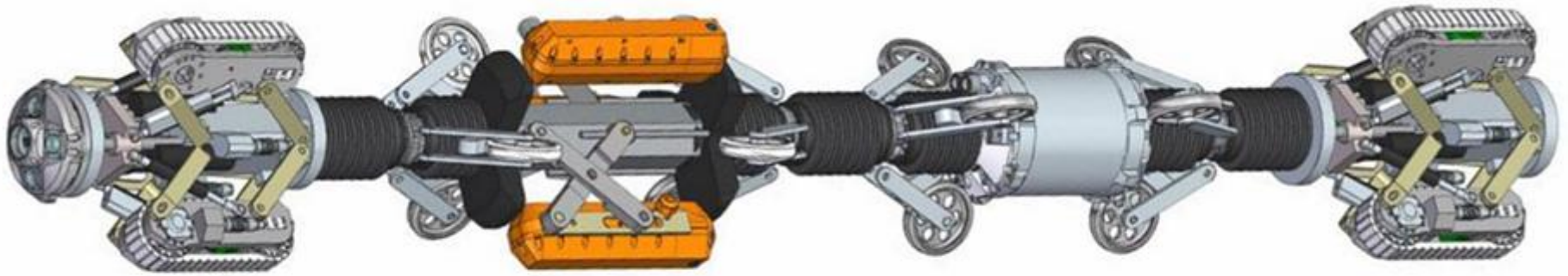


Развитие технологии внутритрубной диагностики тепловых сетей

ПТЭК
ТЕПЛОСЕТЬ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

1. Создание робототехнического комплекса для диагностики трубопроводов тепловых сетей от **Ду200 до Ду300**

2. Создание робототехнического комплекса для диагностики трубопроводов тепловых сетей от **Ду300 до Ду600**



Развитие технологии внутритрубной диагностики тепловых сетей

3. Внедрение элементов системы искусственного интеллекта:

- **Автоматизированная обработка** "сырых" данных диагностических систем с использованием нейросетевых моделей для обнаружения и классификации дефектов
- **Автоматическая детекция** аномальных зон с использованием сверточных нейронных сетей
- **Предиктивная аналитика** для прогнозирования отказа робототехнических комплексов при их эксплуатации

Развитие технологии внутритрубной диагностики тепловых сетей

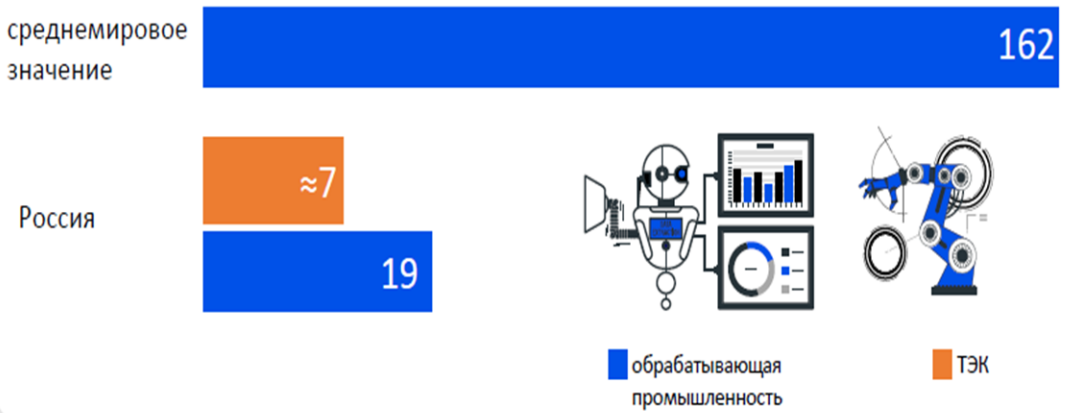
4. Подготовка и переподготовка специалистов внутритрубного контроля путем создания образовательных программ в вузах и колледжах, ориентированных на робототехнику, мехатронику и энергетику. Программы могут включать как теоретическую подготовку, так и практические стажировки на испытательных стендах предприятий и реальных объектах эксплуатации

Стратегия развития робототехнических комплексов (согласно данным Министерства энергетики РФ)

Указ Президента Российской Федерации о национальных целях развития на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года

вхождение к 2030 году РФ
в число 25 ведущих стран мира
по показателю плотности роботизации

Плотность роботизации
(кол-во промышленных роботов на 10 000 рабочих)



План на 2030 год в обрабатывающей промышленности

145 Промышленных роботов на 10 000 рабочих

План на 2030 год в ТЭК

>50 Промышленных и сервисных роботов на 10 000 рабочих

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Цыцеров Евгений Николаевич

Начальник отдела эксплуатации систем мониторинга и диагностики тепловых сетей АО «ТЭК»

tsytserovEN@aotek.spb.ru

Биометрия в информационной безопасности. Проблемы, задачи и решения

Беззатеев Сергей Валентинович
bsv@guap.ru

заведующий кафедрой информационной безопасности,
Санкт Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического Приборостроения

БИОМЕТРИЯ В СИСТЕМАХ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Пассивная биометрия

- Отпечаток пальца
- Сетчатка глаза
- Венозный рисунок ладони
- Форма ушной раковины

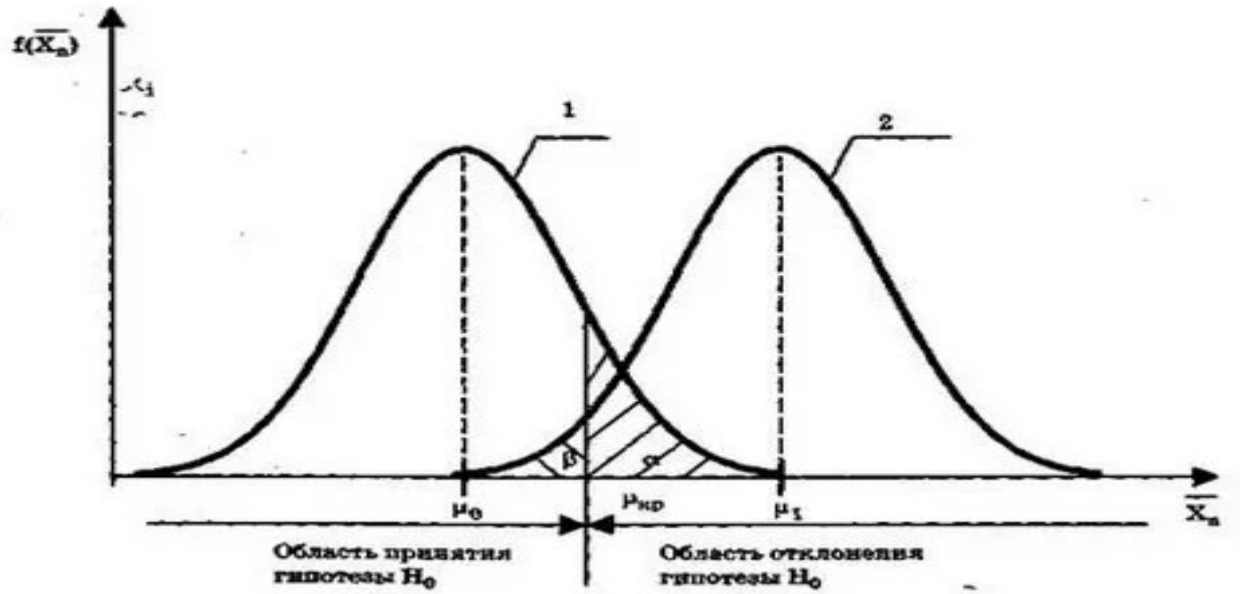
….

Активная биометрия

- Походка
- Динамика подписи
- Шумы сердца
- Поведение

…

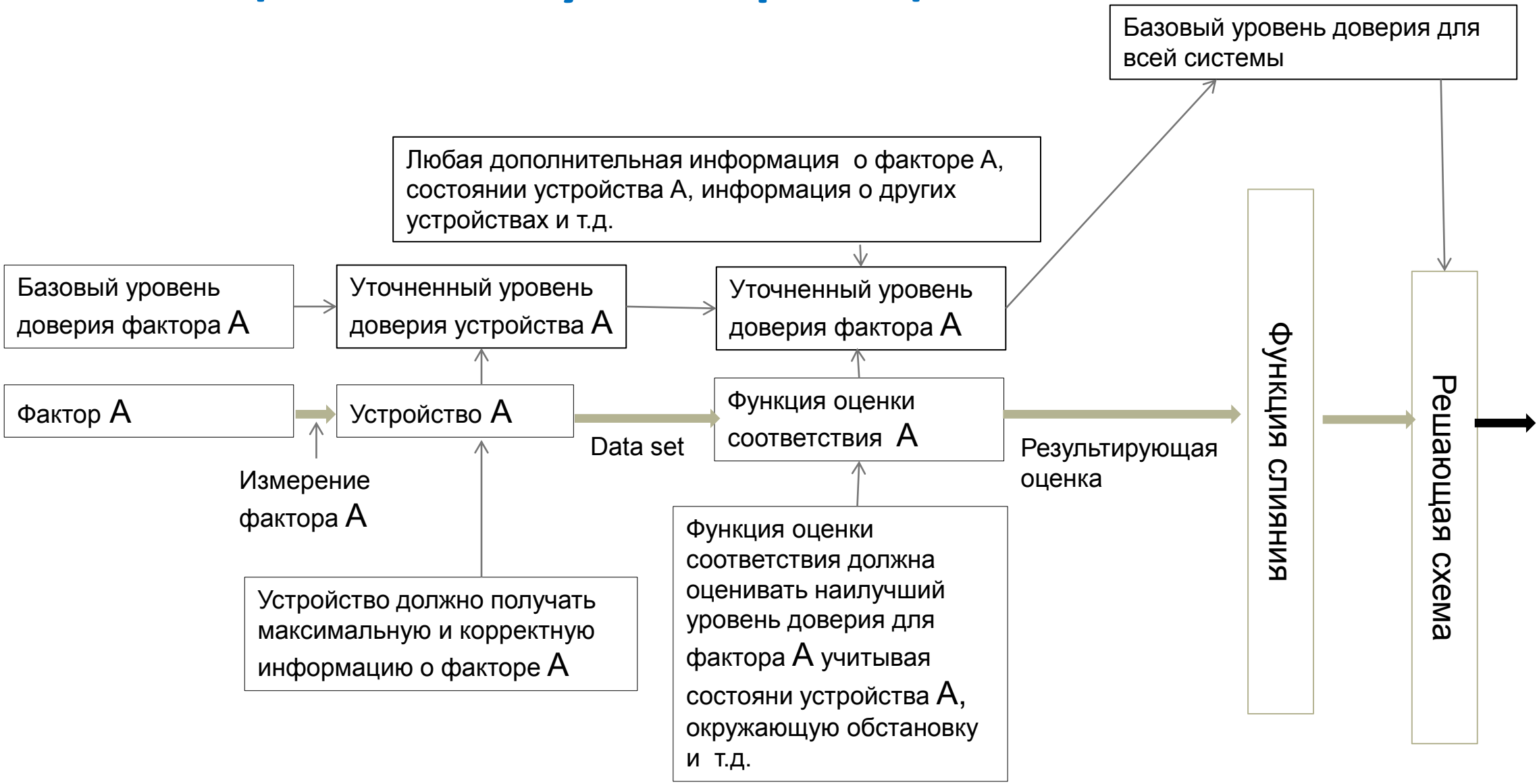
ВЕРОЯТНОСТИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО РОДА



Биометрия

Ключ, пароль

Общая схема аутентификации



Сбор данных

Выделяются наиболее значимые **N** параметров для выбранного фактора

↓

Выбирается некоторое количество **M** субъектов участвующих в эксперименте

↓

Для каждого субъекта выполняется определенное число **K** измерений для каждого из N выбранных параметров

↓

Вычисляются статистические характеристики для каждого параметра для каждого пользователя – мат. ожидание, дисперсия и т.д..

↓

Определяется закон распределения результата измерения для каждого параметра

Построение «гиперсфер» пользователей

{ $M(P_{1,j})$, $M(P_{2,j})$,.... $M(P_{N,j})$ } определяют точки соответствующие **j**-ому субъекту в **N**-мерном факторном пространстве.

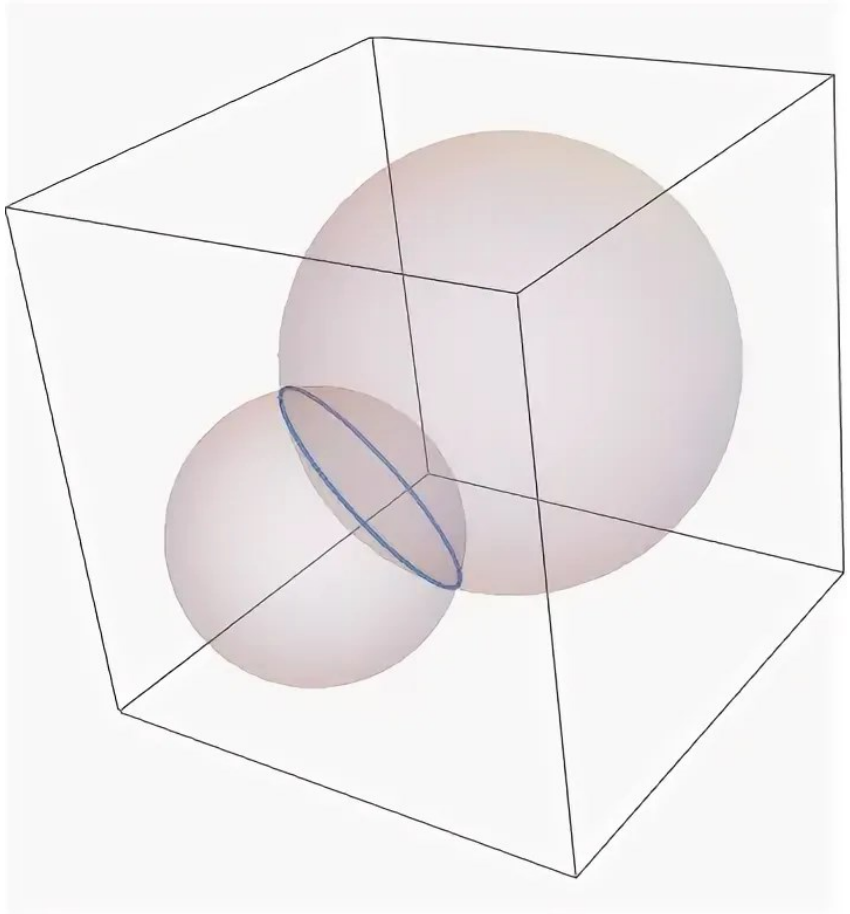
↓

Минимальные и максимальные значения параметров полученные в результате **K** экспериментов для всех **M** субъектов $P_{i,\,min} = \min P_{i,j,k}$ **(j=1,.., M ; k=1,..., K)**, $P_{i\,,\,max} = \max P_{i,j,k}$ **(j=1,.., M; k=1,..., K)** определяют диапозон значений параметров P_i **, i=1,..., N** .

↓

Для каждого параметра каждого субъекта вычисляется среднеквадратичное отклонение $\sigma_{i,j}$**, i=1,..., M; j=1,..., N** . Это позволяет определить “гиперсферу” («облако") вокруг каждой точки(субъекта) { $M(P_{1,\,j})$, $M(P_{2,j})$,.... $M(P_{N,j})$ } в **N**-мерном пространстве

ГИПЕРСФЕРЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ



Оценка исходного уровня доверия фактора

Вычисление суммарного объема **V** «гиперсфер» субъектов с центрами в $\{M(P_{1,j}), M(P_{2,j}), \ldots M(P_{N,j})\}$ и радиусами $\sigma_{j\,i}$, , i=1,…,M; j=1,…,N

↓

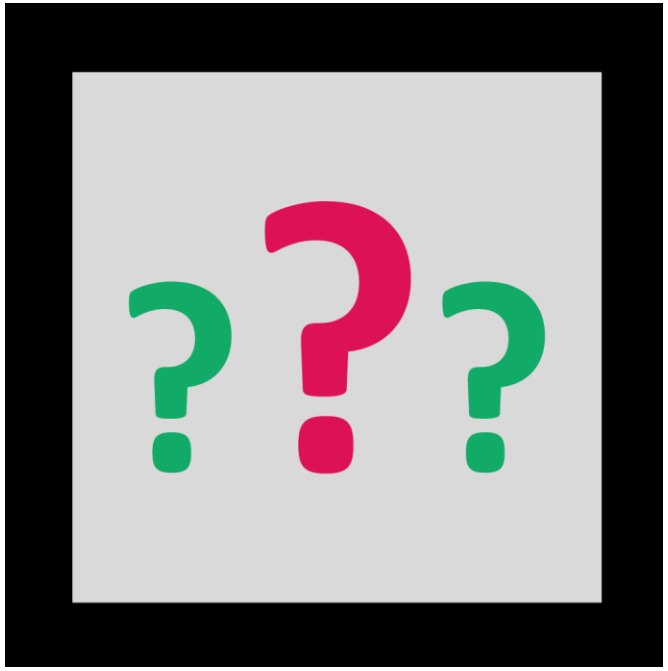
Вычисление суммарного объема **V*** пересечения «гиперсфер» пользователей с центрами в $\{M(P_{1,j}), M(P_{2,j}), \ldots M(P_{N,j})\}$ и радиусами $\sigma_{j\,i}$, , i=1,…,M; j=1,…,N

↓

Оценка исходного уровня доверия (ITL) фактора , как вероятности «пропуска цели» для него (False Accept Rate , **FAR**)

FAR = **V***/**V**

Вопросы



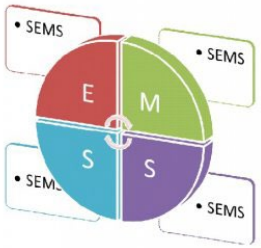
Интеллектуальные электромеханические системы

Кучмин А.Ю., д.т.н., в.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук

2025 г.

Направления исследований



- Теоретические исследования динамических процессов в интеллектуальных электромеханических системах (SEMS)
- Интеллектуальное управление в SEMS
- Математическое и компьютерное моделирование SEMS
- Аппаратно-программное обеспечение центральной нервной системы SEMS
- Оптимальное управление SEMS в условиях неполной определенности
- Алгебраические методы обработки сенсорных и семантических данных и логического вывода
- Адаптивные оптоволоконные каналы и системы роботов
- Самоадаптирующиеся оптоэлектронные элементы
-Управление наземными и космическими радиотелескопами
-Управление беспилотными летательными аппаратами на основе SEMS

Актуальность

В современных технологиях анализа и синтеза высокоточных информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) все шире используют методы идентификации и вычислительные методы оптимизации. Особенностью современных, интеллектуальных электромеханических систем (ИЭМС), является использование в контурах подобных систем «нежёстких» моделей, у которых структура, параметры и вектор состояния не задаются на стадии проектирования, а находятся в реальном масштабе времени при их функционировании.

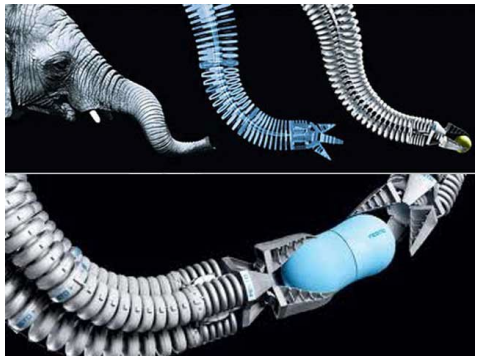
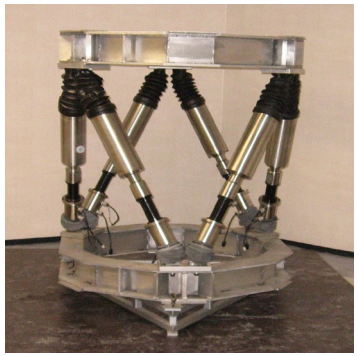
В этом случае при общей постановке задачи анализа и синтеза систем управления (СУ) ИЭМС требуется управление описывать как многокритериальную задачу оптимального управления при большом количестве переменных и ограничений различного вида.

Перспективно использовать такие модули в области робототехники и управлении элементами зеркальных систем (ЗС) больших полноповоротных радиотелескопов (РТ). Актуальной проблемой является построение моделей динамики ИЭМС и разработка методов синтеза их СУ.

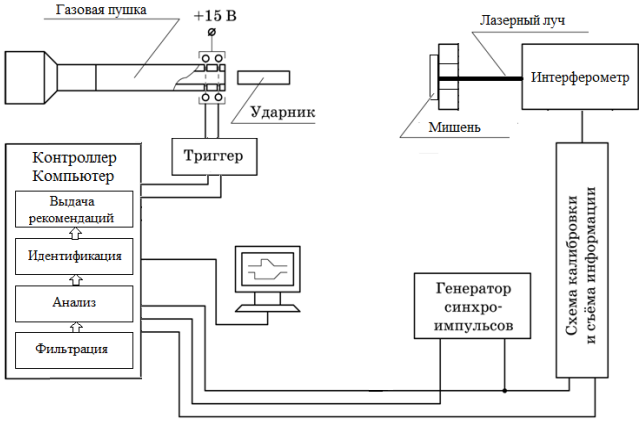
В настоящее время ИИУС стали широко использоваться в испытательных и исследовательских стендах. Однако вопрос влияния сторонних факторов на анализ экспериментальных данных, например, по динамической прочности материалов, является мало изученным.

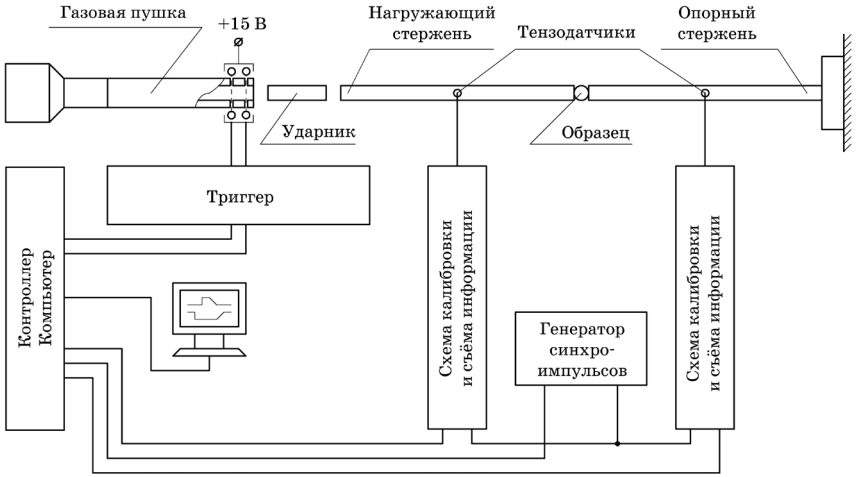
Типы ИЭМС

- ИЭМС с исполнительными механизмами параллельной структуры

- Информационно-измерительные системы испытательных стендов на ударную прочность





Управление в ИЭМС

Критерии управления:

- Критерий максимального быстродействия
- Критерий минимальных перемещений
- Критерий максимальной точности
- Критерий минимальной мощности движений
- Критерий плавности перемещений и др.

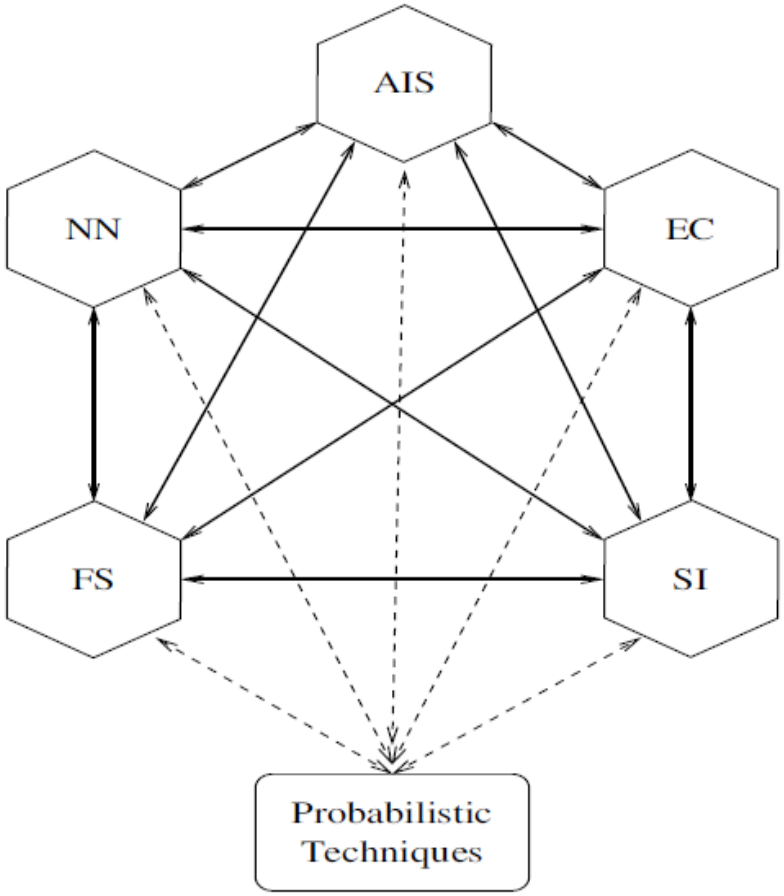
Ограничения:

- на фазовые координаты системы
- на моменты, силы, перемещения, скорости перемещений исполнительных механизмов
- определяющие конфигурацию пространства, в котором движутся ИЭМС
- обусловленные взаимодействием с внешней средой и др.

Иерархическая система управления ИЭМС

- Слой №1: Тактический регулятор модуля ИЭМС
- Слой №2: Групповой регулятор модуля ИЭМС
- Слой №3. Планировщик траектории движения модуля ИЭМС
- Слой №4. Планировщик траектории всей системы

Интеллектуальное управление и гибридные системы



AIS – искусственные иммунные системы

NN – нейронные сети

EC – эволюционные методы

FS – нечеткие системы

SI – эмерджентные системы

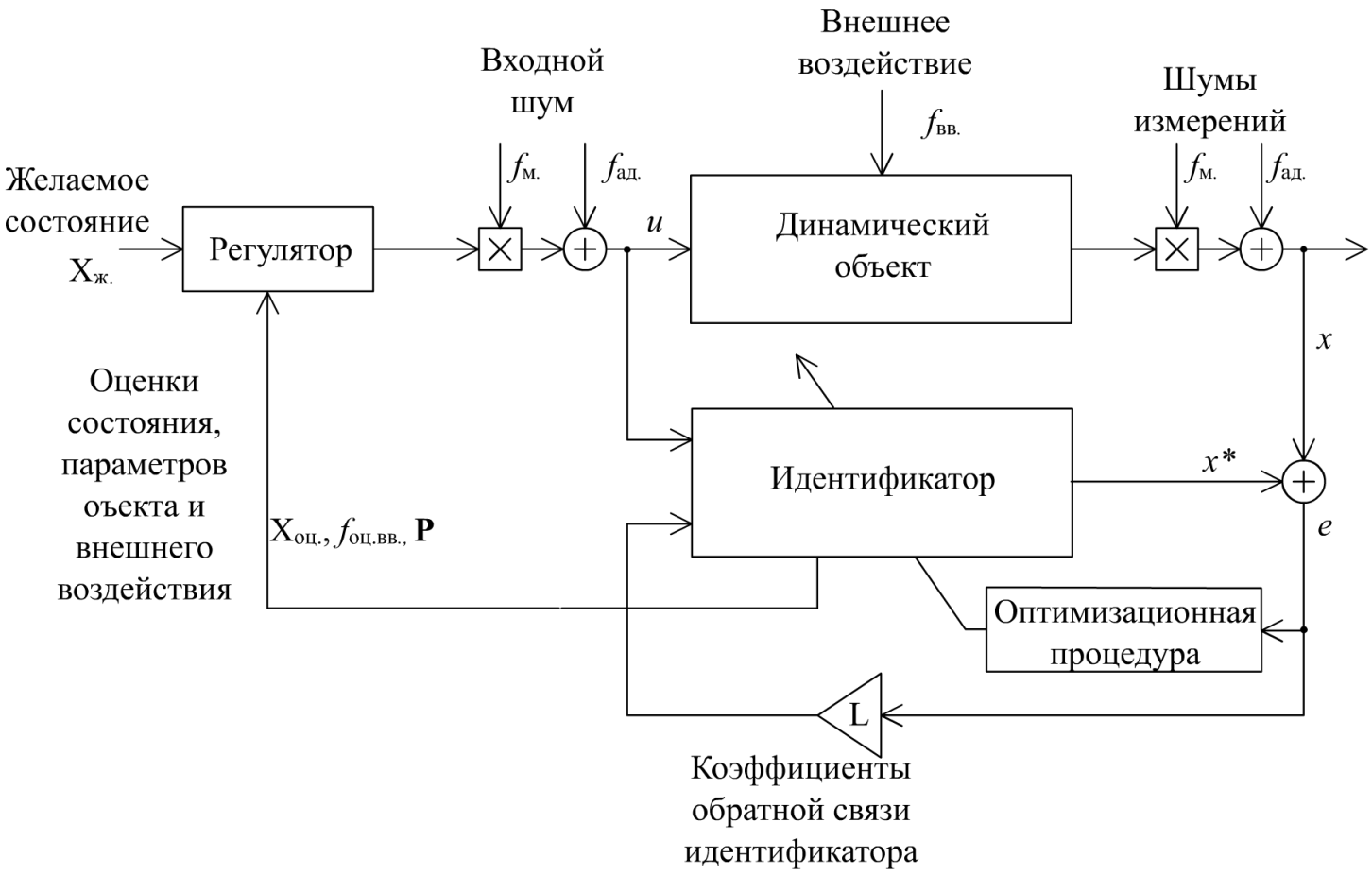
Гибридные системы – это объединение нескольких парадигм ИИ:
ART, ANFIS, FuzzyNeuro, MANFIS и др.

Задачи идентификации ИЭМС как динамических объектов

Вопросы идентификации динамических систем рассматривались в работах Р. Изермана, В.А. Бесекерского, Д. Гропа, Л. Льюнга, Л. Заде, Р. Калмана, Д.Табака, Куо Б., М. Мюнхгофа, Г. Мзика, И. Буталиса, Д.Зэодоридиса, Карабутова Н.Н., Т. Коттаса, М.А. Кристодоулоу, О.А. Степанова, А.А. Бобцова и др.

- Идентификация параметров
- Идентификация вектора состояния
- Идентификация внешних воздействий, действующих на ИЭМС

Обобщённая функциональная схема идентификации



Основные проблемы идентификации ИЭМС

1. Нестационарность исследуемого динамического объекта
2. Нелинейность исследуемого объекта
3. Необходимость учёта влияния внешней «среды» (макросистемы) на динамику исследуемого объекта
4. Нестационарность шумов измерения
5. Ограниченные выборки измеряемых величин
6. Задача идентификации должна выполняться за малое конечное время
7. Процесс идентификации является неотъемлемой частью алгоритма управления

МНК-идентификатор ИЭМС как квазистационарного ДО

Модель в виде стационарного разностного фильтра:

$$\sum_{i_1=0}^{m_1} a_{i_1} x\left[t_k - \tau_{i_1}\right] = -\sum_{i_2=1}^{m_2}\sum_{i_3=0}^{m_{3,i_2}} b_{i_2,i_3} u_{i_2}\left[t_k - \tau_{i_2,i_3}\right],$$

где a_{i_1}, b_{i_2,i_3} - коэффициенты фильтра, i_1, i_2, i_3 - соответствующие индексы, m_1, m_2, m_{3,i_2} - максимальные значения индексов, t_k - текущий момент времени, $\tau_{i_1}, \tau_{i_2,i_3}$ - временные сдвиги, x – выходная координата, u_{i_2} - управляющие воздействия.

Модель стека с линейной интерполяцией данных в виде матричного оператора сдвига:

$$\mathbf{A}^{\tau} = \begin{cases} \mathbf{A}^{\mathrm{fix}\left(\frac{\tau\omega_0}{2\pi}\right)}\left[1 - \frac{\tau\omega_0}{2\pi} + \mathrm{fix}\left(\frac{\tau\omega_0}{2\pi}\right)\right] + \left(\frac{\tau\omega_0}{2\pi} - \mathrm{fix}\left(\frac{\tau\omega_0}{2\pi}\right)\right)\mathbf{A}^{\mathrm{fix}\left(\frac{\tau\omega_0}{2\pi}\right)+1}, \tau \geq 0 \\ \left(\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\right)^{\mathrm{fix}\left(-\frac{\tau\omega_0}{2\pi}\right)}\left[1 + \frac{\tau\omega_0}{2\pi} + \mathrm{fix}\left(\frac{-\tau\omega_0}{2\pi}\right)\right] + \left(\frac{\tau\omega_0}{2\pi} + \mathrm{fix}\left(\frac{-\tau\omega_0}{2\pi}\right)\right)\left(\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\right)^{\mathrm{fix}\left(-\frac{\tau\omega_0}{2\pi}\right)+1}, \tau < 0 \end{cases}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & & 0 \\ 1 & 0 & & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{nxn}$$

где τ – сдвиг во временной области, ω_0 – частота дискретизации по времени, fix(…) – функция округления с отбрасыванием дробной части, n – число отсчётов в окне выборки.

МНК-идентификатор ИЭМС как квазистационарного ДО

Постановка задачи математического программирования:

$$J = \min_{\mathbf{p}} \left\{ \mathbf{p}^{\mathrm{T}} \mathbf{H} \mathbf{p} \right\},$$

При ограничениях: $\mathbf{G}\mathbf{p} \geq \mathbf{R}$

где: $\mathbf{H} = \mathbf{F}^{\mathrm{T}} \mathbf{S}^{\mathrm{T}} \mathbf{S} \mathbf{F}$, $\mathbf{S}$ – матрица учёта ненулевых начальных условий

$$\sum_{i_1=0}^{m_1} \mathbf{A}^{-\tau_{i_1}} \mathbf{x} a_{i_1} + \sum_{i_2=1}^{m_2} \sum_{i_3=0}^{m_{3,i_2}} \mathbf{A}^{-\tau_{i_2,i_3}} \mathbf{u}_{i_2} b_{i_2,i_3} = \boldsymbol{\varepsilon},$$

$$\mathbf{F}\mathbf{p} = \boldsymbol{\varepsilon},$$

$$\left[a_0,\ a_1,\ \ldots,\ a_{m_1},\ b_{1,0},\ b_{1,1},\ \ldots,\ b_{m_2,m_{3,m_2}} \right]^{\mathrm{T}} = \mathbf{p},$$

$$\left[\mathbf{A}^{-\tau_0}\mathbf{x},\ \mathbf{A}^{-\tau_1}\mathbf{x},\ \ldots,\ \mathbf{A}^{-\tau_1}\mathbf{x},\ \mathbf{A}^{-\tau_{1,0}}\mathbf{u}_1,\ \mathbf{A}^{-\tau_{1,1}}\mathbf{u}_1,\ \ldots,\ \mathbf{A}^{-\tau_{m_2,m_{3,m_2}}}\mathbf{u}_{m_2} \right] = \mathbf{F},$$

Идентификация параметров ИЭМС как задача квадратичного программирования

$$J = \min_{\mathbf{p}} \left\{ 0.5\mathbf{p}^{\mathrm{T}}\mathbf{H}^{*}\mathbf{p} + \mathbf{\Phi p} + c \right\}, \mathbf{Gp} \geq \mathbf{R}$$

Основные трудности:

1. Матрица $\mathbf{H}^{*}$ не является положительно определённой
2. Особенность матрицы $\mathbf{H}^{*}$
3. Проблема гипербол
4. Противоречивые ограничения

Постановка задачи идентификации ИЭМС как динамических объектов на основе множественно-функционального подхода

Модель ИЭМС определим в общем виде:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\left(\mathbf{p}, \mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{f}\right),$$

где $\mathbf{x}$ – вектор состояния ИИУС, $\mathbf{p}$ – параметры ИИУС, $\mathbf{u}$ – управляющие воздействия на ДО, $\mathbf{f}$ – возмущающие воздействия, $\mathbf{y}$ – измеряемый выход ДО, $\mathbf{C}, \mathbf{M}$ - матрицы параметров.

$$J = \min_{\mathbf{p},\mathbf{x},\mathbf{f}} \left\{ \int_{t_0}^{t_k} \left(\mathbf{Cx} - \mathbf{y}\right)^{\mathrm{T}} \mathbf{M} \left(\mathbf{Cx} - \mathbf{y}\right) dt \right\},$$

При ограничениях, описывающих физическую адекватность модели :

$$\mathbf{p}_{\min} \le \mathbf{p} \le \mathbf{p}_{\max}, \mathbf{x}_{\min} \le \mathbf{x} \le \mathbf{x}_{\max}, \mathbf{f}_{\min} \le \mathbf{f} \le \mathbf{f}_{\max},$$

$$G_i\left(\mathbf{p}, \mathbf{f}, \mathbf{x}\right) \le 0, \; i = 1, \ldots, m,$$

где G_i – функции ограничений.

Постановка задачи идентификации ИЭМС как задачи МП

Модель ИЭМС определим в общем виде:

$$\mathbf{x}[k+1] = \mathbf{F}*(\mathbf{p}[k], \mathbf{x}[k], \mathbf{u}[k], \mathbf{f}[k]),$$

где $\mathbf{x}$ – вектор состояния ИИУС, $\mathbf{p}$ – параметры ИИУС, $\mathbf{u}$ – управляющие воздействия на ДО, $\mathbf{f}$ – возмущающие воздействия, $\mathbf{y}$ – измеряемый выход ДО, $\mathbf{C}, \mathbf{M}$ - матрицы параметров.

$$J* = \min_{\mathbf{p},\mathbf{x}[0],\mathbf{f}} \left\{ \sum_{k=0}^{N} \left(\mathbf{C}\mathbf{x}[k] - \mathbf{y}[k]\right)^{\mathrm{T}} \mathbf{M} \left(\mathbf{C}\mathbf{x}[k] - \mathbf{y}[k]\right) \right\},$$

При ограничениях, описывающих физическую адекватность модели :

$$\mathbf{p}_{\min} \le \mathbf{p} \le \mathbf{p}_{\max}, \mathbf{x}_{\min} \le \mathbf{x} \le \mathbf{x}_{\max}, \mathbf{f}_{\min} \le \mathbf{f} \le \mathbf{f}_{\max},$$

$$G_i(\mathbf{p}, \mathbf{f}, \mathbf{x}) \le 0, \; i = 1, \ldots, m,$$

где G_i – функции ограничений.

Решение задачи с помощью введения базисных функций

Базисная функция несёт информацию как о параметрах системы, так и о её состоянии, и является аппроксимацией общего решения системы дифференциальных уравнений, задающей модель ДО, где $\boldsymbol{\varepsilon}$ - погрешность модели:

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{z}_i + \boldsymbol{\varepsilon},\ i = 1,\ldots,s,$$

Базисные функции, полученные по экспериментальным данным:

$$\mathbf{z}_i = \sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\varphi}_j\left(\mathbf{p}_i, \mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i, t\right), \mathbf{v}_i = \sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\rho}_j\left(\boldsymbol{\mu}_i, t\right),$$

где $\boldsymbol{\mu}$ - параметры среды, $\boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\rho}$ - аппроксимирующие функции.

При ограничениях, описывающих физическую адекватность модели :

$$\mathbf{p}_{\min} \le \mathbf{p} \le \mathbf{p}_{\max}, \mathbf{x}_{\min} \le \mathbf{x} \le \mathbf{x}_{\max}, \boldsymbol{\mu}_{\min} \le \boldsymbol{\mu} \le \boldsymbol{\mu}_{\max},$$

$$G_k\left(\mathbf{p}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{x}\right) \le 0,\ k = 1,\ldots,m.$$

где G_i – функции ограничений.

Базисная функция стационарного фильтра

$$\mathbf{x} = -\left[\sum_{i=0}^{n} a_i \mathbf{A}^{-i}\right]^{-1} \sum_{i=1}^{n} a_i \mathbf{A}^{-i} \mathbf{D}\mathbf{x}_0 - \left[\sum_{i=0}^{n} a_i \mathbf{A}^{-i}\right]^{-1} \sum_{j=1}^{n} \sum_{l=1}^{m} b_{l,j} \mathbf{A}^{-i} \mathbf{u}_l .$$

Матричный оператор сдвига во временной области:

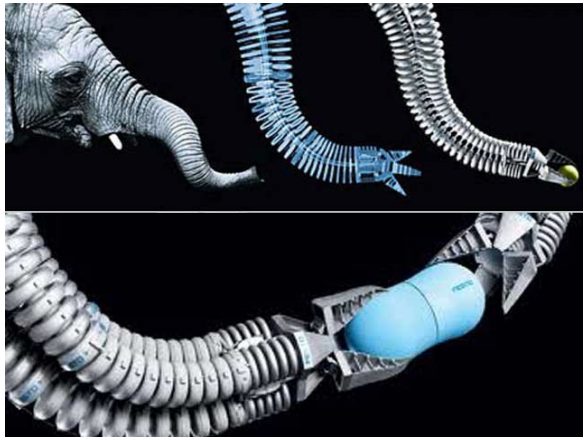
$$\mathbf{A}^k = \begin{cases} \mathbf{A}^k, k \geq 0 \\ \left(\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\right)^k, k < 0 \end{cases}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & & 0 \\ 1 & 0 & & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

D – матрица начальных условий, $\mathbf{x}_0$ – начальные условия, **x** – вектор отсчётов выходной величины, $\mathbf{u}_l$ – векторы отсчётов входных воздействий, $a_i, b_{l,j}$ – коэффициенты фильтра.

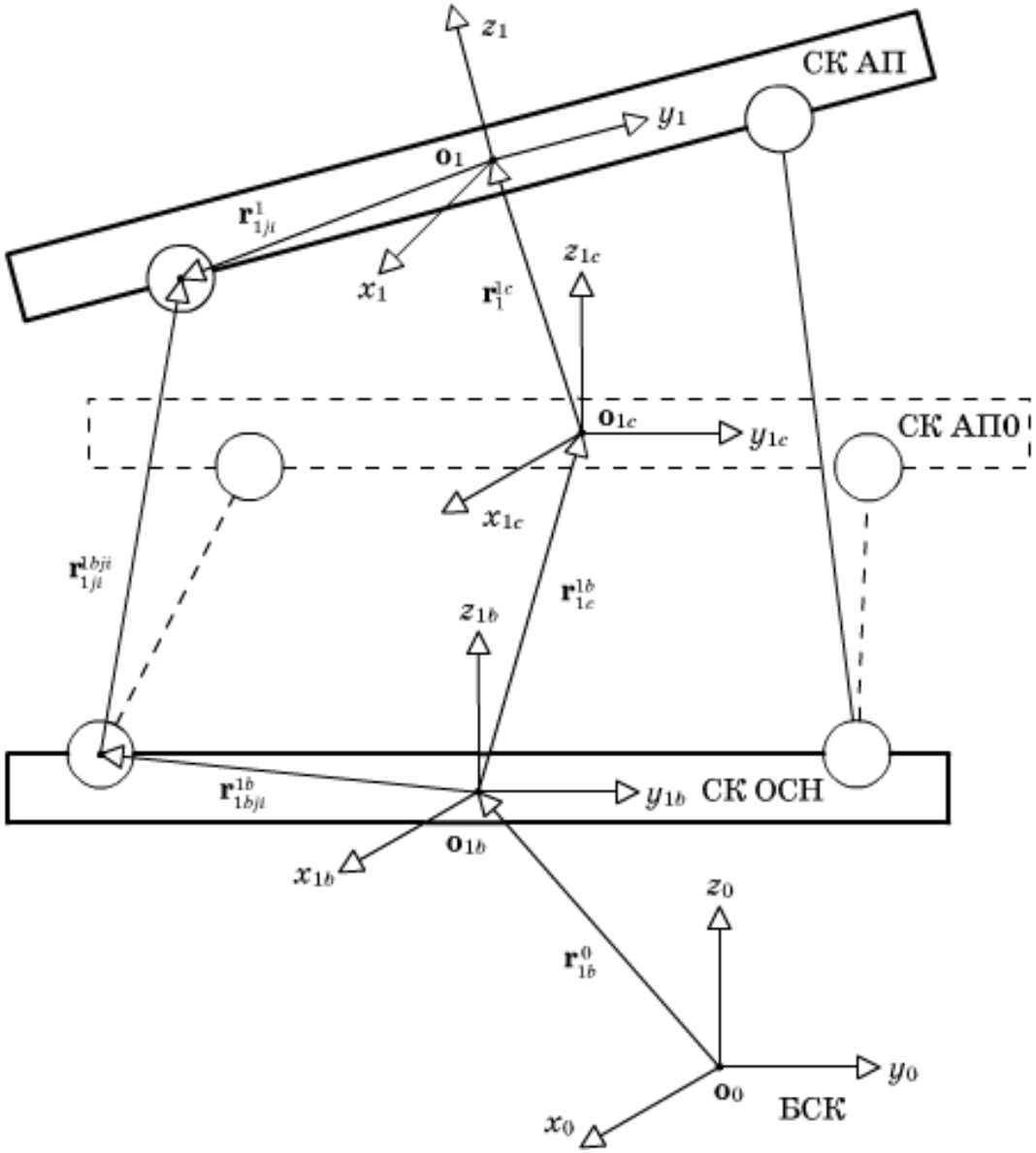
Моделирование и идентификация ИЭМС с исполнительными механизмами параллельной структуры

Механизмы параллельной структуры

Посвящены работы В.А. Глазунова, В.М. Герасуна, Ф.М. Диментберга, А.Н. Евграфова, С.Л. Зенкевича, В.Л. Жавнера, А.Ш. Колискора, М.З. Коловского, А.И. Корендясева, А.Ф. Крайнева, В.И. Пындака, Л.А. Рыбака, Б.Л. Саламандры, А.В. Сергеева, Л.И.Тывеса, С.В. Хейло, Е.И. Юревича, А.С. Ющенко, С.Ю. Мисюрина, А.Е.Городецкого, В.В. Дубаренко, В.А. Коноплёва и др.



Системы координат *n*-пода



Нелинейные уравнения движения

$$\dot{V}_{\text{п}} = \Theta_{\text{п}}^{-1}\left[F_{\text{п}}\left(U_{\text{п}}\right) - \Phi_{\text{п}}\Theta_{\text{п}}V_{\text{п}} + G_{\text{п}} + P_{\text{п}}\right], \dot{q}_{\text{п}} = M_{\text{п}}^{-1}\left[V_{\text{п}} - L_{\text{п}}^{\text{T}}M_{\text{ос}}\dot{q}_{\text{ос}}\right],$$

$q_{\text{п}}$ – обобщенные координаты центра инерции,

три линейные $r_{\text{п}}^{\text{пс,пс}}$ и три угловых $\varphi_{\text{п}}$ координаты;

$F_{\text{п}}$ – проекции сил упругого взаимодействия и демпфирования;

$\Theta_{\text{п}}$ – матрица инерции;

$V_{\text{п}}$ – проекции линейных и угловых скоростей в СК АП;

$M_{\text{п}}$ – матрица, определяющая переход от $\dot{q}_{\text{п}}$ к $V_{\text{п}}$;

$\Phi_{\text{п}}$ – матрица, образованная из элементов $V_{\text{п}}$;

$\dot{q}_{\text{ос}}$ – линейные и угловые скорости перемещений СК ОС относительно СКЗ;

$M_{\text{ос}}$ – матрица, определяющая переход от $\dot{q}_{\text{ос}}$ к их проекциям в СК АП;

$L_{\text{п}}$ – матрица преобразования систем координат.

$G_{\text{п}}$ – гравитация

$P_{\text{п}}$ – вектор внешних воздействий

$U_{\text{п}}$ – вектор управляющих воздействий

Реакция на двигатель:

$$R_{\text{дв}i} = \frac{C_{\text{ш}i}\Delta l_{ci} + D_{\text{ш}i}\Delta \dot{l}_{ci}}{i_{\text{ред}i}},$$

$C_{\text{ш}i}$ – жесткость штока;

Δl_{ci} – упругая деформация штока;

$D_{\text{ш}i}$ – демпфирование штока;

$i_{\text{ред}i}$ – передаточное число редуктора.

Силы упругого взаимодействия и демпфирования:

$$F_{\text{п}i} = \begin{bmatrix} -C_{\text{ш}i} e^{\text{п}}_{\text{ш}i} \Delta l_{ci} - D_{\text{ш}i} e^{\text{п}}_{\text{ш}i} \Delta \dot{l}_{ci} \\ - < r^{\text{п,п}}_{\text{п}i} > C_{\text{ш}i} e^{\text{п}}_{\text{ш}i} \Delta l_{ci} - < r^{\text{п,п}}_{\text{п}i} > D_{\text{ш}i} e^{\text{п}}_{\text{ш}i} \Delta \dot{l}_{ci} \end{bmatrix}, \quad \Delta l_{ci} = \left| r^{\text{ос,ос}}_{\text{пс}} + r^{\text{пс,пс}}_{\text{п}} + c_{\text{п}} r^{\text{п,п}}_{\text{п}i} - r^{\text{ос,ос}}_{\text{ш}i} \right| - \frac{\alpha_{\text{дв}i}}{i_{\text{ред}i}} - l_{\text{ш}i},$$

$$\Delta \dot{l}_{c,i} = e^{\text{п,Т}}_{\text{ш}i} \dot{r}^{\text{п,п}}_{\text{п}i} + e^{\text{п,Т}}_{\text{ш}i} c_{\text{п}} < r^{\text{п,п}}_{\text{п}i} >^{\text{Т}} \varepsilon_{\text{п}} \dot{\varphi}_{\text{п}} - \frac{\Omega_{\text{дв}i}}{i_{\text{ред}i}}, \quad e^{\text{п}}_{\text{ш}i} = c^{\text{Т}}_{\text{п}} \frac{r^{\text{ос,ос}}_{\text{пс}} + r^{\text{пс,пс}}_{\text{п}} + c_{\text{п}} r^{\text{п,п}}_{\text{п}i} - r^{\text{ос,ос}}_{\text{ш}i}}{\left| r^{\text{ос,ос}}_{\text{пс}} + r^{\text{пс,пс}}_{\text{п}} + c_{\text{п}} r^{\text{п,п}}_{\text{п}i} - r^{\text{ос,ос}}_{\text{ш}i} \right|},$$

$e^{\text{п}}_{\text{ш}i}$ – вектор задающий положение штока в пространстве;

$r^{\text{п,п}}_{\text{п}i}$ – координаты точки крепления штока на АП в СК АП;

$r^{\text{ос,ос}}_{\text{пс}}$ – координаты юстировочного положения АП в СК ОС;

$r^{\text{ос,ос}}_{\text{ш}i}$ – координаты крепления штоков к основанию в СК ОС;

$\Omega_{\text{дв}i}$ – скорость электродвигателя; $l_{\text{ш}i}$ – начальная длина штока;

$\alpha_{\text{дв}i}$ – угол поворота ротора электродвигателя; $\varepsilon_{\text{п}}$ – матрица Эйлера.

Уравнения электродвигателя:

$$T_{Я}\ddot{\rho}_{Яi} = -\dot{\rho}_{Яi} - \frac{c_e}{R_{Я}}\dot{\alpha}_{двi} + \frac{1}{R_{Я}}U_{Двi},\ J_{Дв}\ddot{\alpha}_{двi} = c_{м}\dot{\rho}_{Яi} - \mu_{Дв}\dot{\alpha}_{двi} + R_{двi}$$

$\dot{\rho}_{Яi}=I_{Яi}$ – ток якоря; $T_{Я}$ – постоянная времени якорной цепи;

$R_{Я}$ – активное сопротивление якоря; c_e – коэффициент противоэдс;

$U_{Двi}$ – управляющее напряжение; $J_{Дв}$ – момент инерции ротора;

$c_{м}$ – моментная постоянная; $\mu_{Дв}$ – коэффициент вязкого трения.

Линеаризованные уравнения движения

$$\mathbf{A}_3\ddot{\mathbf{x}} + \left[\mathbf{A}_2 + \mathbf{D}_2 + \boldsymbol{\mu}_2\right]\dot{\mathbf{x}} + \left[\mathbf{A}_1 + \mathbf{C}_1 + \mathbf{D}_1 + \boldsymbol{\Pi}_1 + \boldsymbol{\mu}_1\right]\mathbf{x} = \boldsymbol{\Pi}_3\mathbf{z} + \left[\mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2 + \mathbf{H}_3\right]\mathbf{w} -$$
$$-\mathbf{B}_3\ddot{\mathbf{y}} - \mathbf{B}_2\dot{\mathbf{y}} + \left[\mathbf{G}_1 - \mathbf{B}_1 + \boldsymbol{\Pi}_2\right]\mathbf{y} + \left[\mathbf{A}_0 - \mathbf{B}_0 + \mathbf{G}_0 + \mathbf{C}_0 + \mathbf{D}_0 + \boldsymbol{\mu}_0 + \boldsymbol{\Pi}_0\right],$$

где $\mathbf{x}$ и $\mathbf{y}$ – соответствующие отклонения от опорной траектории верхнего и нижнего оснований: а $\mathbf{z}$ – отклонения нагрузок от нагрузок от значений в стационарной точке, равные $\mathbf{z} = \Delta\mathbf{p} = \mathbf{p} - \mathbf{p}_{fix}$, $\mathbf{w}$ – отклонения управляющих воздействий от соответствующих значений в стационарной точке, равные $\mathbf{w} = \Delta\mathbf{u} = \mathbf{u} - \mathbf{u}_{fix}$, а матрицы параметров модели: $\mathbf{A}_i$ и $\mathbf{B}_i$– инерциальные слагаемые, $\mathbf{C}_i$ – жесткостные параметры, $\mathbf{D}_i$ – параметры демпфирования, $\mathbf{G}_i$ – гравитационные составляющие, $\boldsymbol{\Pi}_i$ – составляющие внешней нагрузки, $\mathbf{H}_i$ – составляющие управления, $\boldsymbol{\mu}_i$ – параметры трения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЖЕСТКОСТИ ИЭМС С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

$$\mathbf{C} = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{T}_i \mathbf{C}_{pi} \mathbf{T}_i^{\mathrm{T}}, \ \mathbf{T}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & 0 \\ \boldsymbol{\varepsilon}_1^{\mathrm{T}} \langle \mathbf{r}_i \rangle \mathbf{c}_1^{\mathrm{T}} & \mathbf{I} \end{bmatrix}, \mathbf{C}_{pi} = \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{C}}_i & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$\boldsymbol{\varepsilon}_1$ – матрица Эйлера, $\mathbf{c}_1$ – матрица вращения, $\mathbf{r}_i$ – координаты шарниров в связанной системе координат.

$$\bar{\mathbf{C}}_i = C_i \left(\mathbf{I} - \mathbf{I} \frac{l_{0i}}{l_i} + \frac{l_{0i} \mathbf{c}_b^{\mathrm{T}} \mathbf{r}_{li} \mathbf{r}_{li}^{\mathrm{T}} \mathbf{c}_b}{(l_i)^3} \right) \approx C_i \frac{\mathbf{c}_b^{\mathrm{T}} \mathbf{r}_{li} \mathbf{r}_{li}^{\mathrm{T}} \mathbf{c}_{1c}^{1b}}{(l_i)^2},$$

$l_{0i}(\mathbf{r}, \boldsymbol{\varphi}), l_i(\mathbf{r}, \boldsymbol{\varphi})$ – начальные и конечные длины актуаторов, $\mathbf{c}_b$ – матрица вращения, определяющая начальное положение платформы,

$\mathbf{r}_{li}(\mathbf{r}, \boldsymbol{\varphi})$ – вектор, определяющий положение актуатора,

$\mathbf{I}$ – единичная матрица,

$\mathbf{r}$ и $\boldsymbol{\varphi}$ – линейные и угловые перемещения платформы.

Идентификация парциальной жёсткости n-пода

$$J = \min_{C}\{\Phi\}, C_{\min} \le C \le C_{\max},$$

$$\Phi = \sum_{j=1}^{N}\left[\mathbf{F}_j - \mathbf{C}_{eq}\mathbf{q}_j\right]^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{F}_j - \mathbf{C}_{eq}\mathbf{q}_j\right] =$$

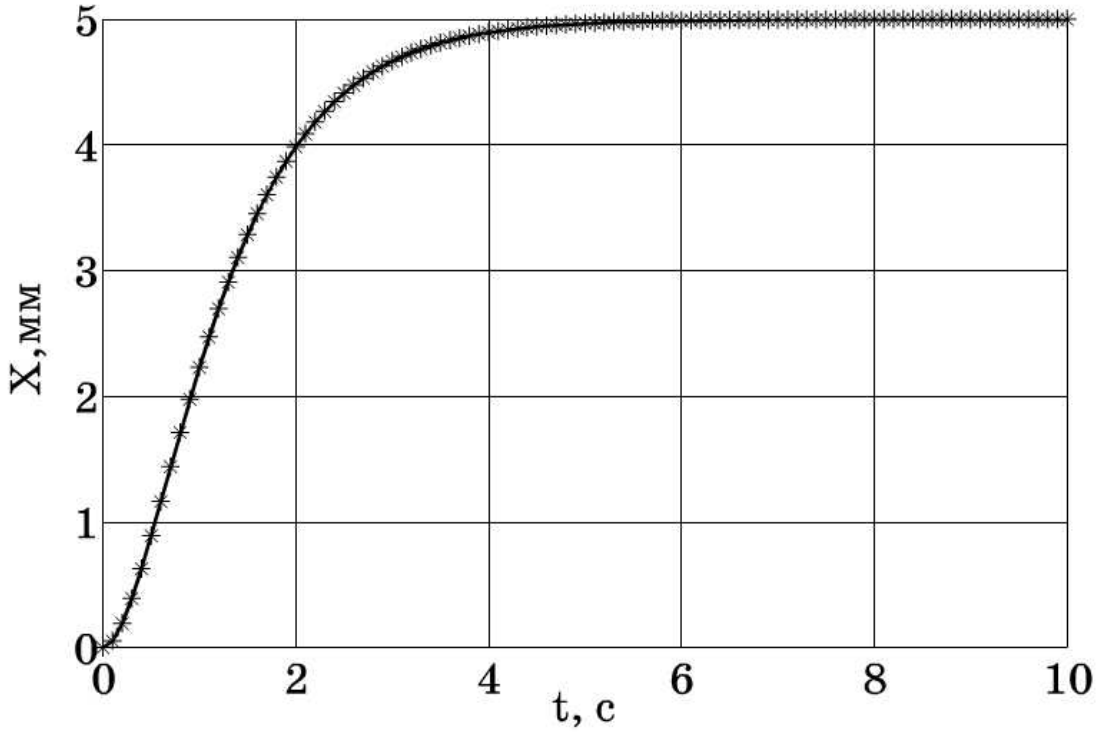
$$= \sum_{j=1}^{N}\mathbf{F}_j{}^{\mathrm{T}}\mathbf{F}_j - 2C\sum_{j=1}^{N}\mathbf{F}_j{}^{\mathrm{T}}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{T}_i\mathbf{B}_i\mathbf{T}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{q}_j + C^2\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{T}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{B}_i\mathbf{T}_i\mathbf{q}_j{}^{\mathrm{T}}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{T}_i\mathbf{B}_i\mathbf{T}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{q}_j,$$

$$\Phi = \min\left\{\Phi\left(C_{\min}\right), \Phi\left(C_{\max}\right), \Phi\left(\frac{\sum_{j=1}^{N}\mathbf{F}_j{}^{\mathrm{T}}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{T}_i\mathbf{B}_i\mathbf{T}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{q}_j}{\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{T}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{B}_i\mathbf{T}_i\mathbf{q}_j{}^{\mathrm{T}}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{T}_i\mathbf{B}_i\mathbf{T}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{q}_j}\right)\right\},$$

C – парциальная жёсткость, $\mathbf{F}_j$ – сила нагружения (задаётся),

$\mathbf{q}_j$ – деформация конструкции, $\mathbf{B}_i = \begin{bmatrix} \dfrac{\mathbf{c}_b^{\mathrm{T}}\mathbf{r}_{l_i}\mathbf{r}_{l_i}^{\mathrm{T}}\mathbf{c}_b}{\left(l_i\right)^2} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

Идентификация модели гексапода



Передаточная функция для выхода линейного перемещения x и удлинения u_1:

$$\frac{1.136 - 3.022\,z^3 + 6.558\,z^2 - 4.734\,z}{z^4 - 2.183\,z^3 + 1.577\,z^2 - 0.3763\,z + 0.0001721}$$

Синтез программного движения

$$J = \min_{x} \{x_1\},$$

$$1)\ x_1 > k_1 T_h,\ 2)\ x_{i+1} < \frac{k_2}{T_h},\ 3)\ x_{i+7} > 0,\ 4)\ x_1 - x_{i+7} > 0,\ 5)\ -\lambda_i^{\max} < \frac{-a_i}{T_h} x_{i+1} < \lambda_i^{\max},$$

$$6)\ e^{-x_1 x_{i+1}} - \left(T_h e^{\frac{-x_1}{T_h}} - \frac{\operatorname{sign}(a_i)\delta_i}{a_i} \right) x_{i+1} - \frac{\operatorname{sign}(a_i)\delta_i}{a_i} = 0,$$

$$7)\ \frac{a_i}{T_h - \frac{1}{x_{i+1}}} \left(\frac{1}{T_h} e^{\frac{-x_{i+7}}{T_h}} - x_{i+1} e^{-x_{i+7} x_{i+1}} \right) = 0,\ 8)\ -v_i^{\max} < \frac{-a_i}{T_h - \frac{1}{x_{i+1}}} \left(e^{\frac{-x_{i+7}}{T_h}} - e^{-x_{i+7} x_{i+1}} \right) < v_i^{\max},$$

$$9) \Delta l_{ai} + l_{0i} \le l_{\max i},\ 10) \left| \Delta \dot{l}_{ai} \right| \le \dot{l}_{\max i},$$

где $x_1 = T_{\text{п.п.}}$; $x_{i+1} = \frac{1}{T_i}$; x_{i+7} - моменты времени, в которые скорости изменения линейных и угловых ошибок наведения имеют максимальные по модулю значения; k_1, k_2 - весовые коэффициенты; $\lambda_i^{\max}$ - максимальное значение ускорений изменения линейных и угловых ошибок наведения; $v_i^{\max}$ - максимальное значение скоростей изменения линейных и угловых ошибок наведения; $l_{\max i}$ - максимальная длина i-ого актуатора, $\dot{l}_{\max i}$ - максимальная скорость удлинения i-ого актуатора, $i = 1..n$.

Синтез программного движения

ММО позволяет перейти к задаче одномерного поиска по времени переходного процесса:

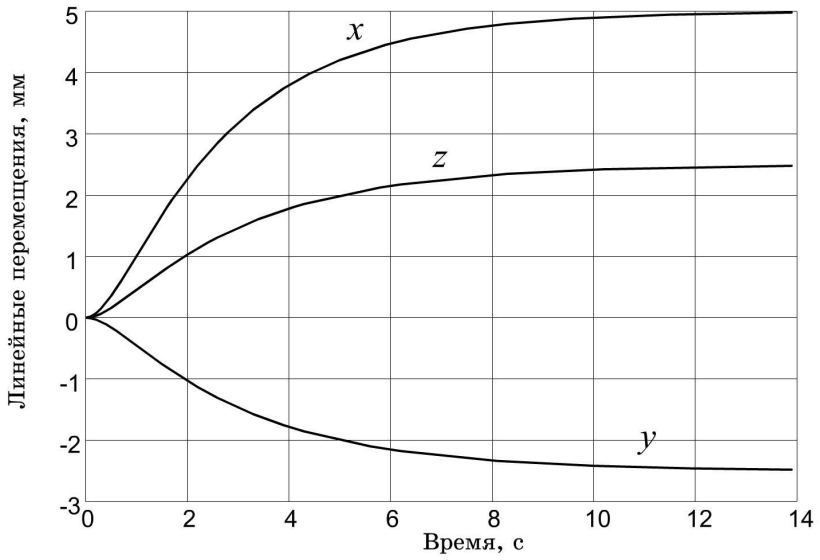
$$J = \min_{x_1} \left\{ x_1 \right\},$$

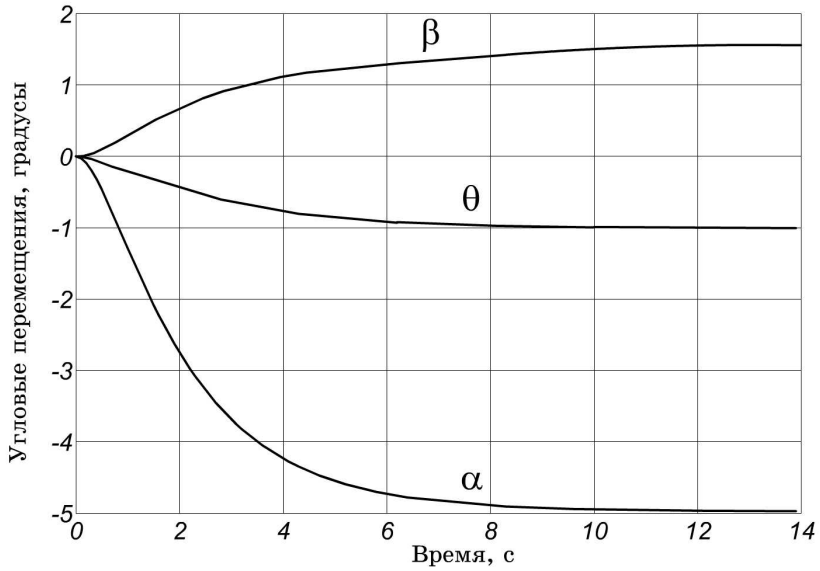
$$1)\ x_1 > k_1 T_h,\ 2) g_i\left(x_1\right) > \frac{k_2}{T_h},\ 3)\mu_i\left(x_1\right) > 0,\ 4)\mu_i\left(x_1\right) - \mu_i\left(x_1\right)\ln \mu_i\left(x_1\right) - \sigma_i < 0,$$

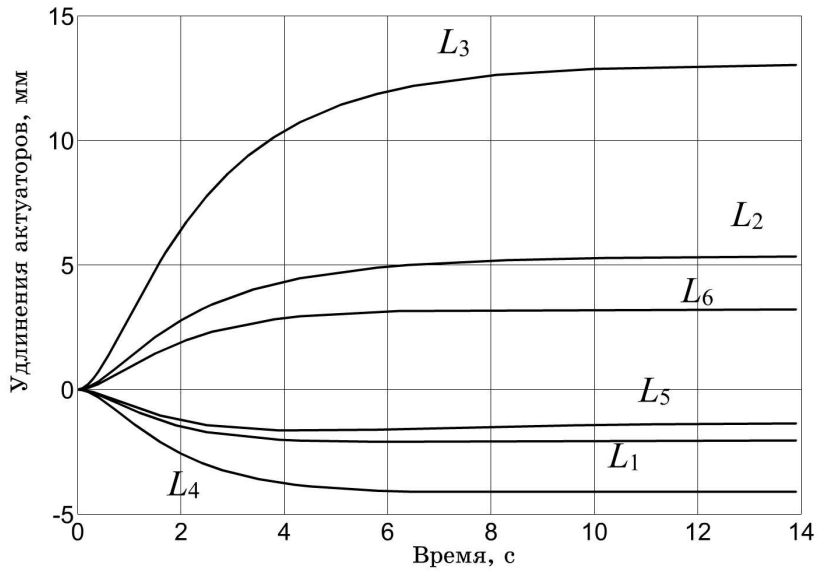
$$5) -\lambda_i^{\max} < \frac{-a_i}{T_h} g_i\left(x_1\right) < \lambda_i^{\max},\ 6) -v_i^{\max} < \frac{-a_i}{T_h - \dfrac{1}{g_i\left(x_1\right)}}\left(e^{\frac{-h_i\left(x_1\right)}{T_h}} - e^{-h_i\left(x_1\right) g_i\left(x_1\right)} \right) < v_i^{\max},$$

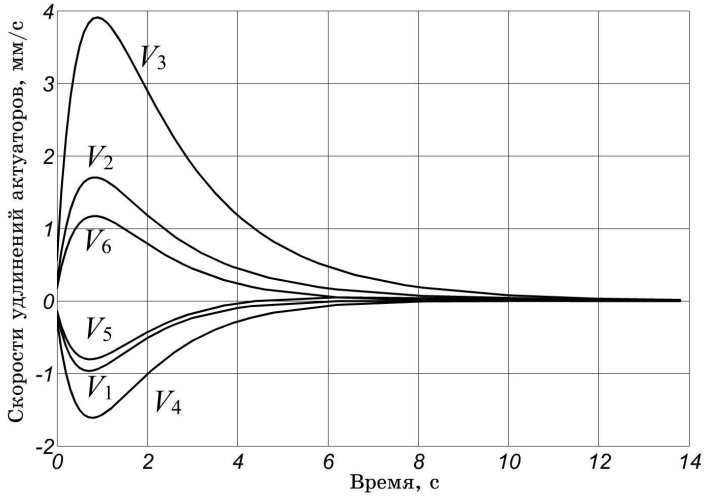
$$7)\Delta l_{ai}\left(x_1\right) + l_{0i} \le l_{\max i},\ 8)\left|\Delta \dot{l}_{ai}\left(x_1\right)\right| \le \dot{l}_{\max i}.$$

Результаты моделирования переходного процесса системы управления гексаподом









Управление зеркальной системой радиотелескопа на базе модулей ИЭМС

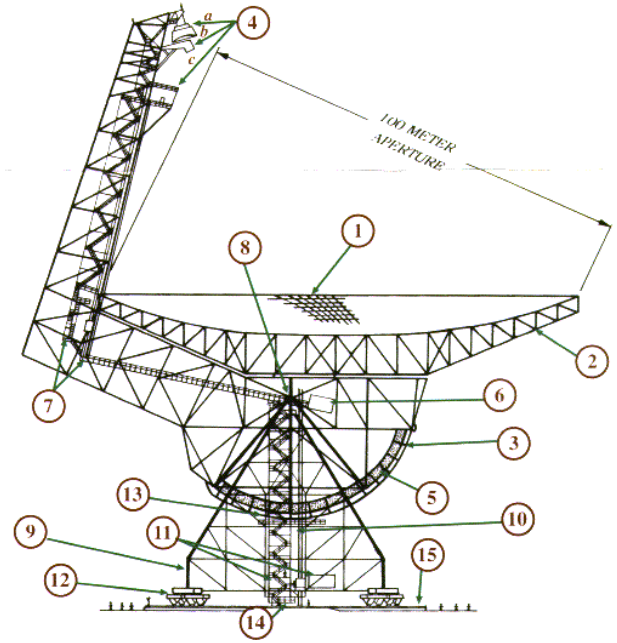
Проблемы управления большими радиотелескопами миллиметрового диапазона:

- Необходимо обеспечить высокую точность профилей отражающих поверхностей: среднеквадратическое отклонение формы зеркала от теоретического не должно превышать 100 мкм на длине волны 1 мм.

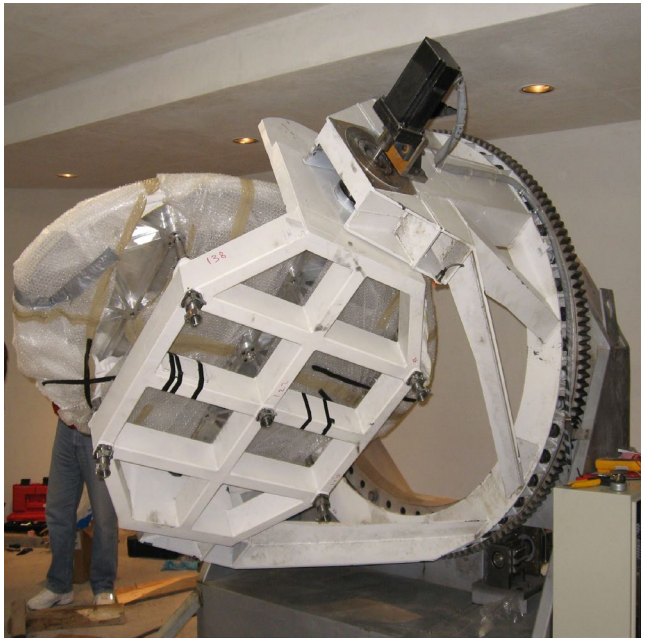
- Необходимо обеспечить высокие точности наведения элементов зеркальной системы: для 70 метрового радиотелескопа требуемая точность наведения главного зеркала 0.5 угл.с.
- Конструкция радиотелескопа обладает значительной податливостью и деформируется под действием гравитации, неравномерного нагрева и охлаждения, ветровой нагрузки и других факторов.
- Нестационарность параметров радиотелескопа как объекта управления.
- Нелинейные эффекты (квантование датчиков, ограничения на фазовые координаты, узкая линейная зона регулятора, сухое трение и д.р.)

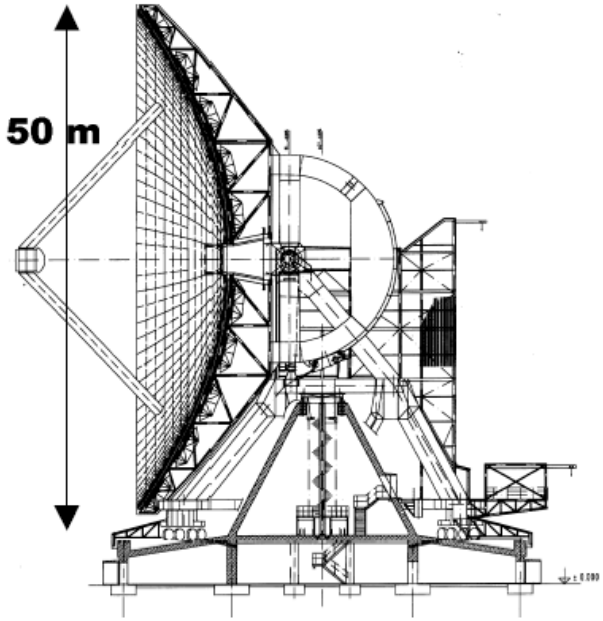
Вопросы компенсации деформаций элементов зеркальной системы от гравитационных, тепловых и ветровых воздействий рассматривались в работах М.Ю.Архипова, Л.Д.Бахраха, И.С.Виноградова, Д.И.Воскресенского, М.А.Гурбанязова, П.Д.Калачева, А.Н.Козлова, А.Г.Соколова, В.В.Кузнецова, В.С.Поляка, В.Б.Тарасова, В.И.Усюкина, У.Христиансена, И.Хегбома, С.Хорнера, В.В. Дубаренко, А.Е. Городецкого и др.

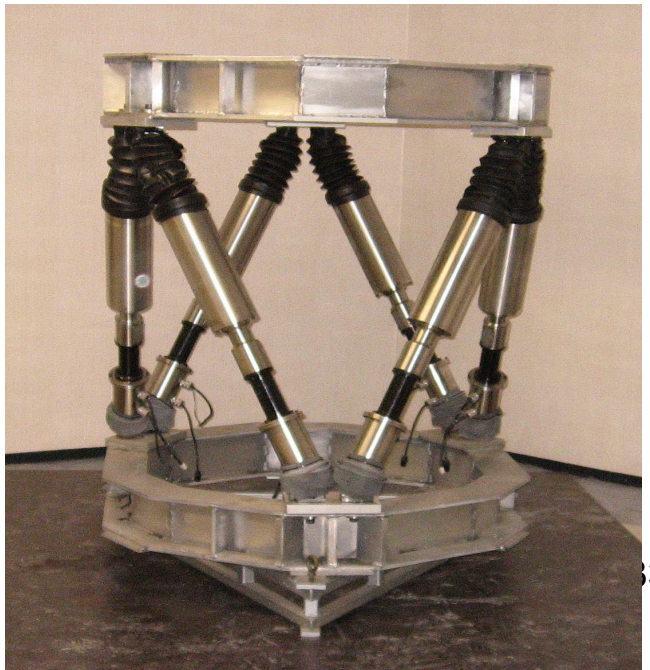
Радиотелескоп GBT 100 м, США



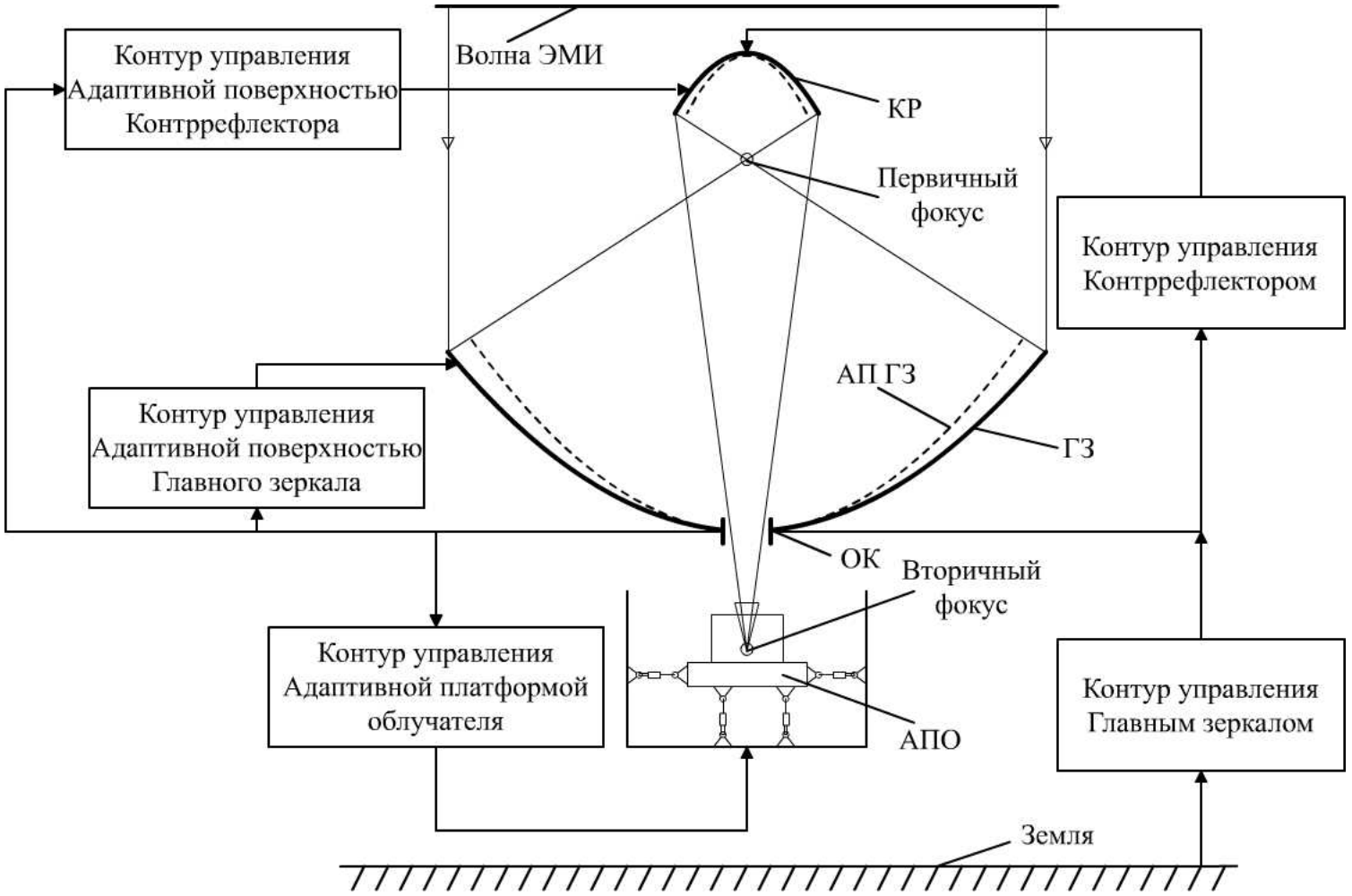
Радиотелескоп GTM 50 м, Мексика



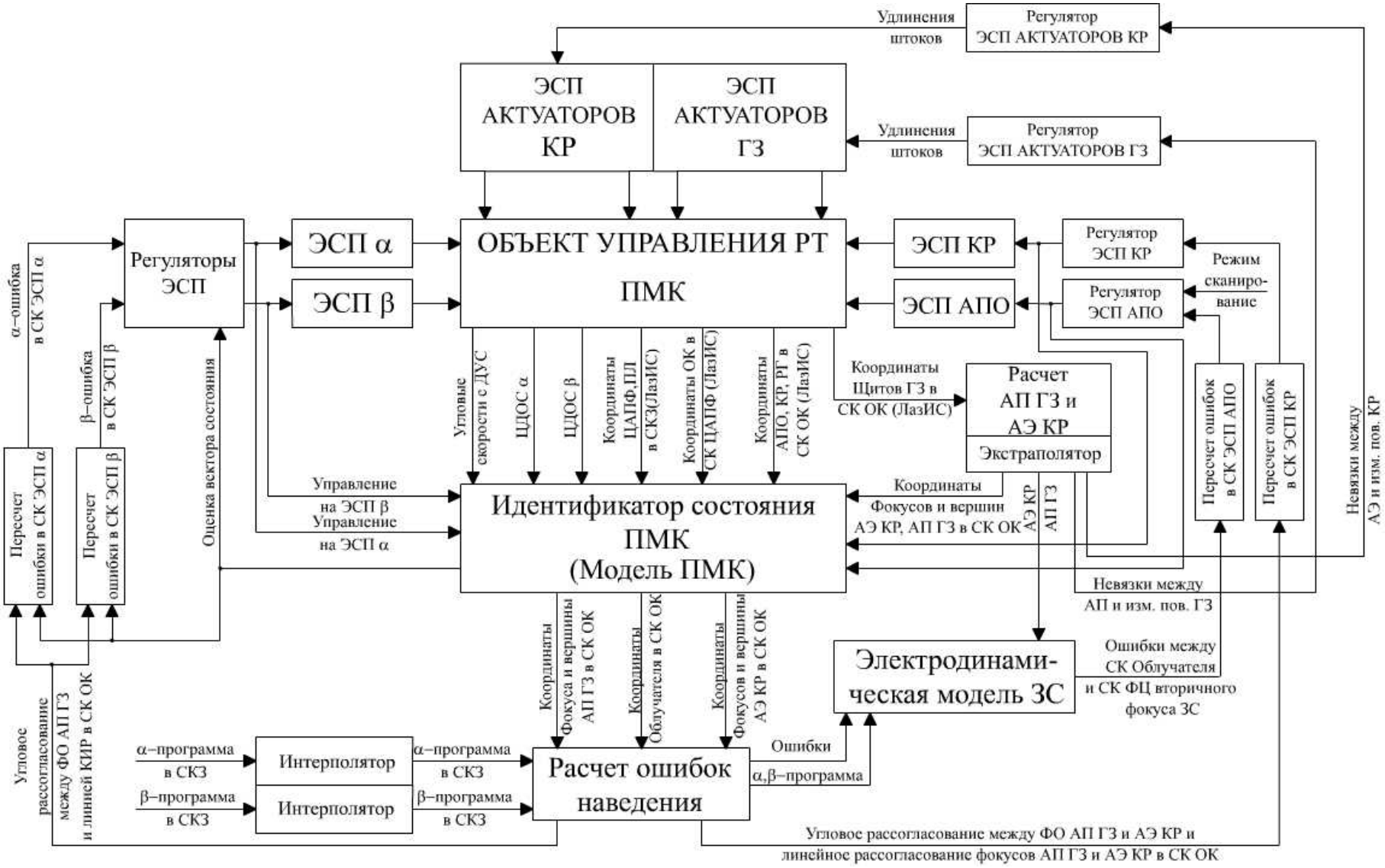




Концепция управления элементами зеркальной системы



Система управления радиотелескопом



Распределение интенсивности в плоскости облучателя аппроксимировано:

$$I(e_{зс},q_{об},x,y)=A(e_{зс},q_{об},x,y)\sin^2(\delta(e_{зс},q_{об})\rho(e_{зс},q_{об},x,y))/$$
$$/(\delta(e_{зс},q_{об})\rho(e_{зс},q_{об},x,y))^2,$$

1. $e_{зс}=(\Delta\alpha_{гз},\Delta\beta_{гз},\Delta x_{кр},\Delta y_{кр},\Delta z_{кр},\Delta\beta_{кр},\Delta\theta_{кр})^T$ – ошибки наведения элементов ЗС;
2. $\Delta\alpha_{гз},\Delta\beta_{гз}$ – ошибки наведения фокальной оси (ФО) ГЗ;
3. $\Delta x_{кр},\Delta y_{кр},\Delta z_{кр}$ – линейные рассогласования фокусов КР и ГЗ;
4. $\Delta\beta_{кр}$, $\Delta\theta_{кр}$ – угловые рассогласования между ФО ГЗ и ФО КР;
5. x,y - координаты задающие точку в плоскости облучателя;
6. $q_{об}=(\Delta x_{об},\Delta y_{об},\Delta z_{об},\Delta\beta_{об},\Delta\theta_{об})^T$ – линейные и угловые отклонения облучателя от юстировочного положения;
7. $\rho^2=(x+\Delta x_{об}+\delta_1\Delta\alpha_{гз}+\delta_2\Delta\beta_{кр}+\delta_3\Delta x_{кр}+\delta_4\Delta z_{кр}\Delta\theta_{кр})^2+(y+\Delta y_{об}+\delta_1\Delta\beta_{гз}+\delta_2\Delta\theta_{кр}+$
$+\delta_3\Delta y_{кр}+\delta_4\Delta z_{кр}\Delta\beta_{кр})^2$;
8. $\delta=\delta_5-\delta_6(\Delta z_{об}+\delta_7\Delta z_{кр}+\delta_8\Delta_{\beta об}+\delta_8\Delta\theta_{об}+\delta_9\Delta\beta_{кр}\Delta y_{кр}+\delta_9\Delta\theta_{кр}\Delta x_{кр})^2$;
9. $A=\delta_{10}-\delta_{11}(\Delta y_{кр}(x-\Delta x_{об})+\delta_{12}\Delta x_{кр}(y-\Delta y_{об})+\delta_{13}\Delta x_{кр}(x-\Delta x_{об})+\delta_{14}\Delta y_{кр}(y-y_{об})+\delta_{15}\Delta z_{об})^2$;
10. δ_i – весовые коэффициенты определяются при моделировании и верифицируются методами радиоголографии.

Критерий качества управления зеркальной системой

$$J = \int_{S_{об}} I(e_{зс}, q_{об}, x, y)ds + a_2 - a_3 \left| q_{фц} - q_{об} \right|^2 + a_1 A(e_{зс}, q_{об}, x_{фц}, y_{фц}),$$

1. $S_{об}$ – площадь облучателя;
2. $q_{фц}=(x_{фц},y_{фц},z_{фц},\beta_{фц},\theta_{фц})^T$ – координаты точки с наибольшей интенсивностью электромагнитного поля (фазовый центр) и углы ориентации вектора направления распространения результирующей электромагнитной волны;
3. a_i –коэффициенты; $q_{фц}=H_1 e_{зс}+H_2(e_{зс})e_{зс}$;
4. H_1,H_2 – матрицы.

Для 70-метрового РТ на длине волны 1 мм были рассчитаны:

1. Угол зрения равный 600";

2. Поле зрения равное 900 мм;

3. Ширина ДНА для точечного приемника по половинной мощности равная 3 угл.с.

Управление адаптивной поверхностью главного зеркала

Каноническое уравнение параболоида (КСК):

$$\mathbf{x}_{p,i}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_p\mathbf{x}_{p,i}+2a_p\mathbf{B}_p^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{p,i}=0,$$

$$\mathbf{x}_{p,i}=\begin{bmatrix}x_{p,i}\\ y_{p,i}\\ z_{p,i}\end{bmatrix},\ \mathbf{A}_p=\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&0\end{bmatrix},\ \mathbf{B}_p=\begin{bmatrix}0\\0\\-1\end{bmatrix},$$

Уравнение параболоида в Базовой СК(БСК):

$$\mathbf{x}_{p,i}=\mathbf{c}(\beta,\theta)^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{x}_{p,0,i}-\mathbf{v}_0\right],$$

$$\mathbf{p}=\begin{bmatrix}x_v & y_v & z_v & \beta & \theta & a_p\end{bmatrix}^{\mathrm{T}},$$

$$\left[\mathbf{x}_{p,0,i}-\mathbf{v}_0\right]^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\left[\mathbf{x}_{p,0,i}-\mathbf{v}_0\right]+2a_p\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{x}_{p,0,i}-\mathbf{v}_0\right]=0,$$

$$\mathbf{A}_0=\mathbf{c}\mathbf{A}_p\mathbf{c}^{\mathrm{T}},\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}=\mathbf{B}_p^{\mathrm{T}}\mathbf{c}^{\mathrm{T}},$$

Уравнение нормали в БСК:

$$\mathbf{B}_p^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{p,i}-\mathbf{B}_p^{\mathrm{T}}\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{v}_0\right]+$$

$$+a_p\sqrt{\frac{\left[\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{v}_0\right]^{\mathrm{T}}\mathbf{c}\mathbf{A}_p\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{v}_0\right]}{\mathbf{x}_{p,i}^{\mathrm{T}}\mathbf{c}\mathbf{A}_p\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{p,i}}}-a_p=0,$$

Уравнение невязки по нормали:

$$\xi_n=\sum_i\left[\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{v}_0-\mathbf{x}_{p,i}\right]^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{v}_0-\mathbf{x}_{p,i}\right],$$

Искомые параметры:

$$\mathbf{p}=\begin{bmatrix}x_v & y_v & z_v & \beta & \theta & a_p\end{bmatrix}^{\mathrm{T}},\left|p_i\right|\le p_i^{\max}$$

Ограничения на ход штоков актуаторов:

$$\left[\mathbf{e}_{a0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{e}_{a0,j}\right]l_{a,j}^2+\left[2\mathbf{e}_{a0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{x}_{b0,j}-2\mathbf{e}_{a0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{v}_0+2a_p\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}\mathbf{e}_{a0,j}\right]l_{a,j}+$$

$$+\left[\mathbf{x}_{b0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{x}_{b0,j}-2\mathbf{x}_{b0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{v}_0+\mathbf{v}_0^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{v}_0+2a_p\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{b0,j}-2a_p\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}\mathbf{v}_0\right]=0$$

$$-0.5l_{a,j}^{\max}\le l_{a,j}\le 0.5l_{a,j}^{\max}$$

Критерии:

$$J_1=\min_{\mathbf{p}}\xi_n(\mathbf{p}),$$

$$J_2=\min_{\mathbf{p}}\sum_{j=1}^{m}l_{a,j}^2(\mathbf{p}).$$

$\mathbf{x}_{p,i}$ – координаты точки параболоида в КСК, $\mathbf{v}_0=[x_v, y_v, z_v]$– координаты вершины в БСК, β, θ - углы ориентации фокальной оси в БСК, a_p - фокусное расстояние, $\mathbf{c}$ - матрица вращения, $\mathbf{x}_{0,i}$ - координаты точки поверхности главного зеркала, ξ_n - невязка по нормали, $\mathbf{x}_{p,0,i}$ – координаты точки параболоида в БСК.

Управление адаптивной поверхностью главного зеркала

Каноническое уравнение параболоида (КСК):

$$\mathbf{x}_{p,i}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_p\mathbf{x}_{p,i}+2a_p\mathbf{B}_p^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{p,i}=0,$$

$$\mathbf{x}_{p,i}=\begin{bmatrix}x_{p,i}\\ y_{p,i}\\ z_{p,i}\end{bmatrix},\ \mathbf{A}_p=\begin{bmatrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&0\end{bmatrix},\ \mathbf{B}_p=\begin{bmatrix}0\\0\\-1\end{bmatrix},$$

Уравнение параболоида в Базовой СК(БСК):

$$\mathbf{x}_{p,i}=\mathbf{c}(\beta,\theta)^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{x}_{p,0,i}-\mathbf{v}_0\right],$$

$$\mathbf{p}=\begin{bmatrix}x_v & y_v & z_v & \beta & \theta & a_p\end{bmatrix}^{\mathrm{T}},$$

$$\left[\mathbf{x}_{p,0,i}-\mathbf{v}_0\right]^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\left[\mathbf{x}_{p,0,i}-\mathbf{v}_0\right]+2a_p\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{x}_{p,0,i}-\mathbf{v}_0\right]=0,$$

$$\mathbf{A}_0=\mathbf{c}\mathbf{A}_p\mathbf{c}^{\mathrm{T}},\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}=\mathbf{B}_p^{\mathrm{T}}\mathbf{c}^{\mathrm{T}},$$

Уравнение нормали в БСК:

$$\mathbf{B}_p^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{p,i}-\mathbf{B}_p^{\mathrm{T}}\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{v}_0\right]+$$

$$+a_p\sqrt{\frac{\left[\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{v}_0\right]^{\mathrm{T}}\mathbf{c}\mathbf{A}_p\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{v}_0\right]}{\mathbf{x}_{p,i}^{\mathrm{T}}\mathbf{c}\mathbf{A}_p\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{p,i}}}-a_p=0,$$

Уравнение невязки по нормали:

$$\xi_n=\sum_i\left[\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{v}_0-\mathbf{x}_{p,i}-\mathbf{x}_{s,i}\right]^{\mathrm{T}}\times$$

$$\times\left[\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{0,i}-\mathbf{c}^{\mathrm{T}}\mathbf{v}_0-\mathbf{x}_{p,i}-\mathbf{x}_{s,i}\right],\xi_n\le\varepsilon^2,$$

Искомые параметры:

$$\mathbf{p}=\begin{bmatrix}x_v & y_v & z_v & \beta & \theta & a_p\end{bmatrix}^{\mathrm{T}},\left|p_i\right|\le p_i^{\max}$$

Ограничения на ход штоков актуаторов:

$$\left[\mathbf{e}_{a0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{e}_{a0,j}\right]l_{a,j}^2+\left[2\mathbf{e}_{a0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{x}_{b0,j}-2\mathbf{e}_{a0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{v}_0+2a_p\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}\mathbf{e}_{a0,j}\right]l_{a,j}+$$

$$+\left[\mathbf{x}_{b0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{x}_{b0,j}-2\mathbf{x}_{b0,j}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{v}_0+\mathbf{v}_0^{\mathrm{T}}\mathbf{A}_0\mathbf{v}_0+2a_p\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}\mathbf{x}_{b0,j}-2a_p\mathbf{B}_0^{\mathrm{T}}\mathbf{v}_0\right]=0$$

$$-0.5l_{a,j}^{\max}\le l_{a,j}\le 0.5l_{a,j}^{\max}$$

Критерий:

$$J_2=\min_{\mathbf{p}}\sum_{j=1}^{m}l_{a,j}^2(\mathbf{p}).$$

$\mathbf{e}_{a0,i}$ – направляющий вектор актуатора в БСК, $\mathbf{x}_{b0,j}$ – координаты юстировочного положения актуатора в БСК, $l_{a,j}$ - удлинения актуаторов, $\mathbf{x}_{s,i}$ – координаты точек подвинутых щитов, ε - СКО поверхности.

Модифицированный релейный метод управления

Постановка задачи управления:

Перевести за минимальное время ДО:

$$A\ddot{y} + D\dot{y} + Cy = Bu + Ff,\ y \in R^s,\ u \in R^m,\ f \in R^p,$$

из начального состояния $x(t_0) = \left[y(t_0);\ \dot{y}(t_0) \right]$ **в желаемое** $x_g = \left[y_g;\ \dot{y}_g \right]$

при линейных ограничениях на обобщенные координаты $y^{\max}, y^{\min}$

и обобщенные скорости $v^{\max}, v^{\min}$.

Уравнения в отклонениях от желаемого состояния $z=x(t)-x_g$**:**

$$\dot{z} = A_z z + B_z u,\ z \in R^{2s},\ u \in R^m.$$

Функция Ляпунова с добавленными штрафными функциями W_i**:**

$$V(z) = z^{\mathrm{T}} \delta z + \sum_{i=1}^{2s} W_i^{\max}(z_i) + \sum_{i=1}^{2s} W_i^{\min}(z_i) > 0,$$

$$W_i^{\max}(z_i) = \exp\left[\delta_i^z \left(z_i + x_{g,i} - x_i^{\max} \right) \right] > 0,\ W_i^{\min}(z_i) = \exp\left[\delta_i^z \left(x_i^{\min} - x_{g,i} - z_i \right) \right] > 0,$$

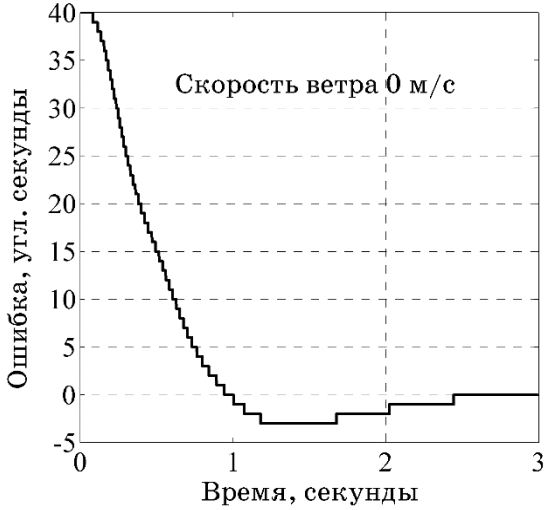
$$\delta^z = \mathrm{diag}\left(\delta_1^y, \delta_2^y, ..., \delta_s^y, \delta_1^v, \delta_2^v, ..., \delta_s^v \right),\ x^{\max} = \left[y^{\max}; v^{\max} \right],\ x^{\min} = \left[y^{\min}; v^{\min} \right].$$

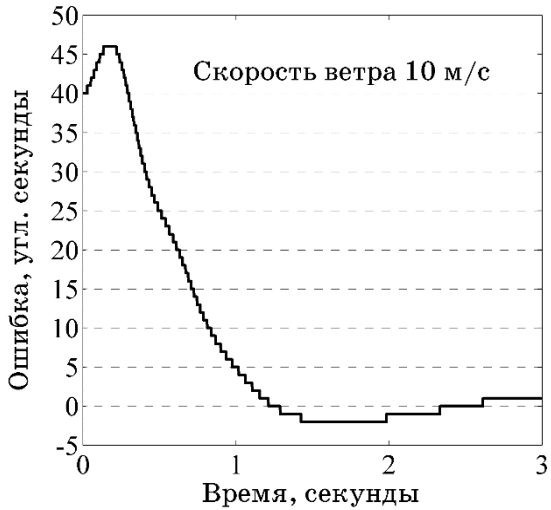
Алгоритм управления:

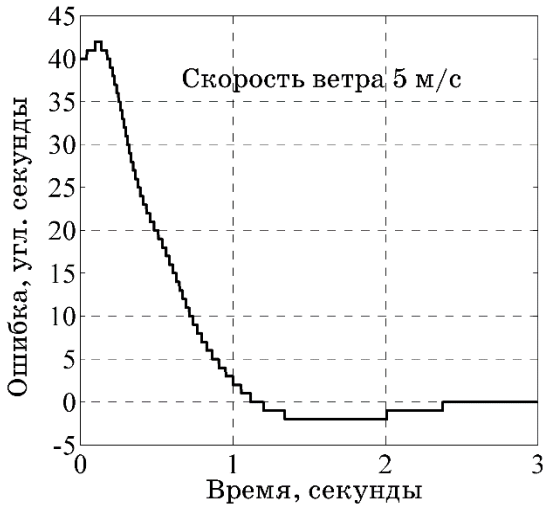
$$u = -\mathrm{diag}\left(u^{\max} \right) \psi\left(B_z^{\mathrm{T}} \delta z + B_z^{\mathrm{T}} \delta^z \left[W^{\max} - W^{\min} \right] \right),\ W^{\max} = \left[W_1^{\max}, W_2^{\max}, ..., W_{2s}^{\max} \right]^{\mathrm{T}},$$

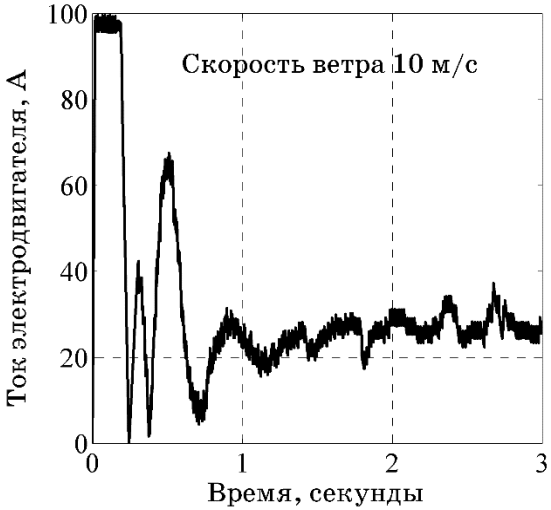
$$\psi(a_1, a_2, ..., a_m) = \left[\mathrm{sign}(a_1), \mathrm{sign}(a_2), ..., \mathrm{sign}(a_{2s}) \right]^{\mathrm{T}},\ W^{\min} = \left[W_1^{\min}, W_2^{\min}, ..., W_{2s}^{\min} \right]^{\mathrm{T}}.$$

Модифицированный релейный метод управления ГЗ



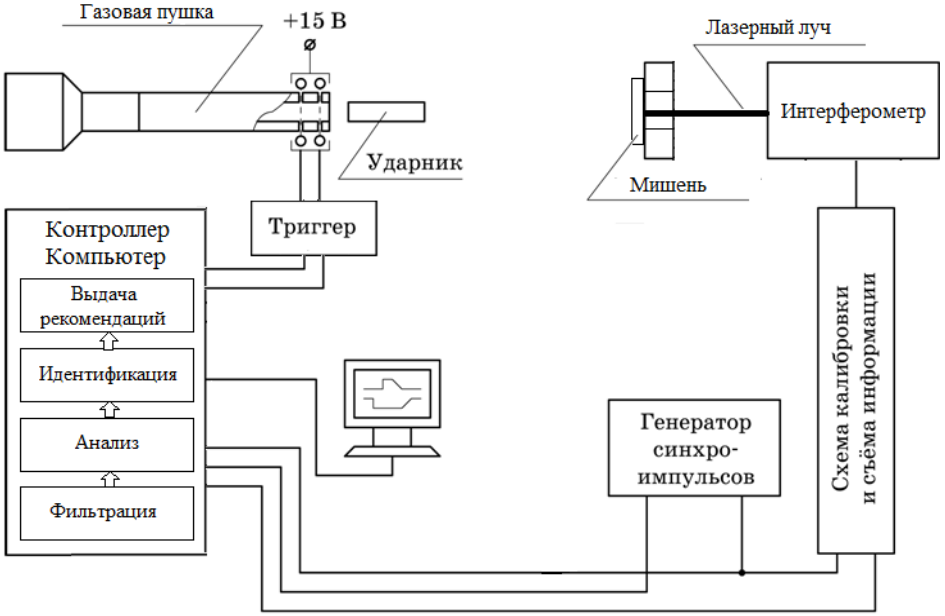


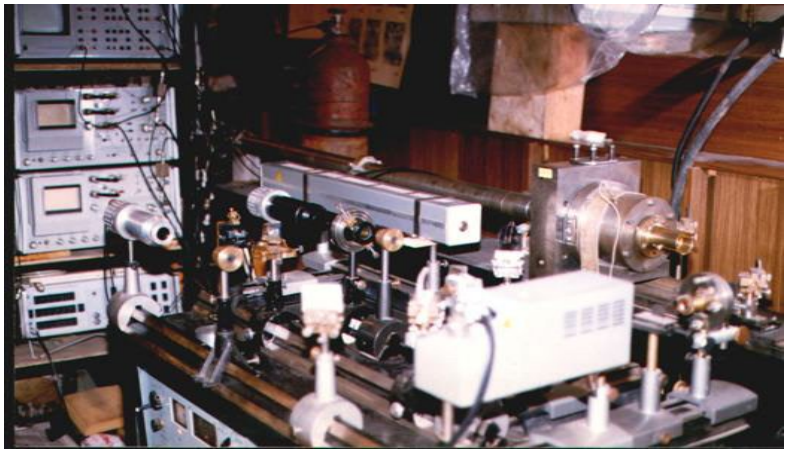




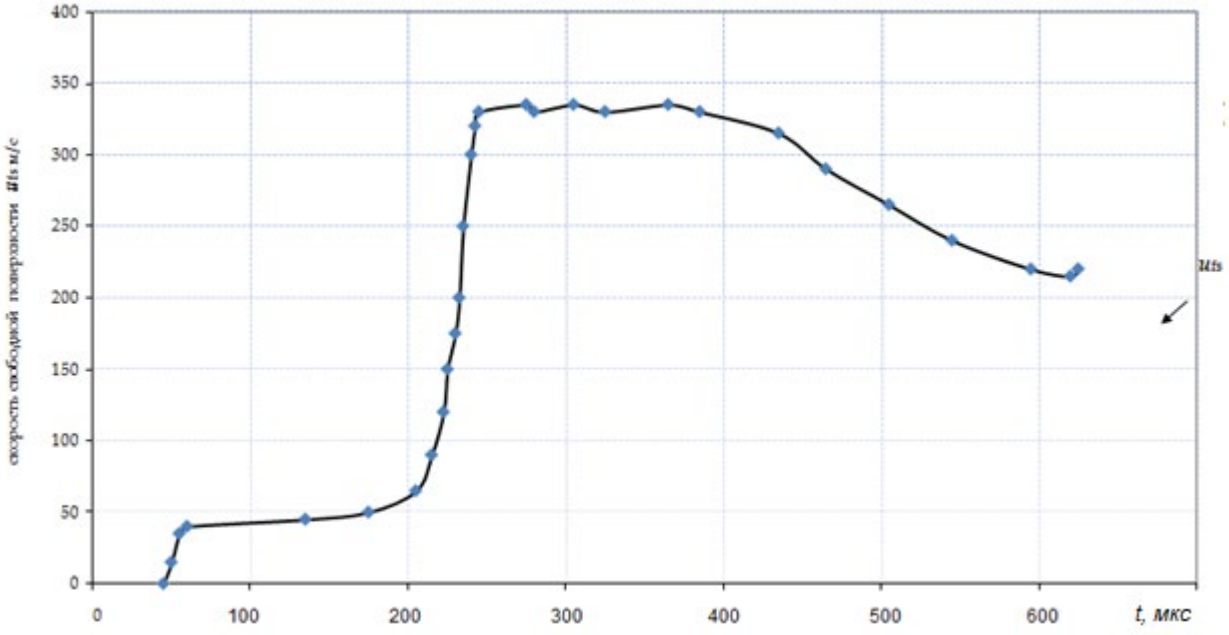
Идентификация динамических структур и характеристик материалов

Идентификация многомасштабной модели стационарного волнового фронта в релаксирующей среде





Работа проводилась совместно с лабораторией "Физики разрушения" ИПМаш РАН.
Заведующий лабораторией Ю.И.Мещеряков



Идентификация многомасштабной модели стационарного волнового фронта в релаксирующей среде

$$J = \min_{\mathrm{p}} \left\{ \frac{1}{z_n - z_0} \sum_{z=z_0}^{z_n} \left(u - u^*(\mathrm{p}) \right)^2 \right\}, \quad \mathrm{p} = \left(B \quad \mu \quad r \quad N_0 \quad \alpha \quad c_0 \right)^{\mathrm{T}},$$

При ограничениях:

$$u_{zz} + \beta_{u_z} \lambda_{u_z} k_u u_z + \beta_{u_z u} \frac{\lambda_{u_z u} k_u}{u_\infty} u u_z + \beta_{u_z^2} \frac{\lambda_{u_z^2} k_u}{u_\infty} u_z^2 + \beta_u k_u u + \beta_{u^2} \frac{k_u}{u_\infty} u^2 = 0,$$

$B_{\min} \le B \le B_{\max}$, $\mu_{\min} \le \mu \le \mu_{\max}$, $r_{\min} \le r \le r_{\max}$, $N_{0\min} \le N_0 \le N_{0\max}$,

$\alpha_{\min} \le \alpha \le \alpha_{\max}$, $c_{0\min} \le c_0 \le c_{0\max}$,

$$a = \frac{8}{3\rho\left(c_l^2 - c_0^2\right)}\mu,\ a \in A,\ k_u = \frac{N_0 \mu |a-2|}{aBr}\frac{b^2}{c_0},\ u_\infty = \frac{c_0}{\alpha} N_0 a,\ \eta \in \mathrm{N},$$

$$\eta = \frac{B}{N_0 \mu r}\frac{c_0}{2b^2},\ \lambda_{u_z} = 2r\frac{|a-\eta|}{|a-2|},\ \lambda_{u_z u} = a\frac{|a-4|}{|a-2|}r,\ \lambda_{u_z^2} = \frac{2a^2}{|a-2|}r^2,$$

$$k_u(r) = \frac{N_0 b^2 \mu |a-2|}{ac_0 B}\frac{1}{r},\ \gamma^* = \frac{N_0 b^2}{B},\ M = \frac{N_0}{\alpha},\ u_\infty = \frac{ac_0}{M} = \frac{ac_0 N_0}{\alpha},$$

$$\eta = \frac{c_0 B}{2N_0 b^2 \mu r},\ \beta_{u_z} = -\mathrm{sign}(a-\eta), \beta_{u_z u} = -\mathrm{sign}(a-4),\ \beta_{u_z^2} = 1,$$

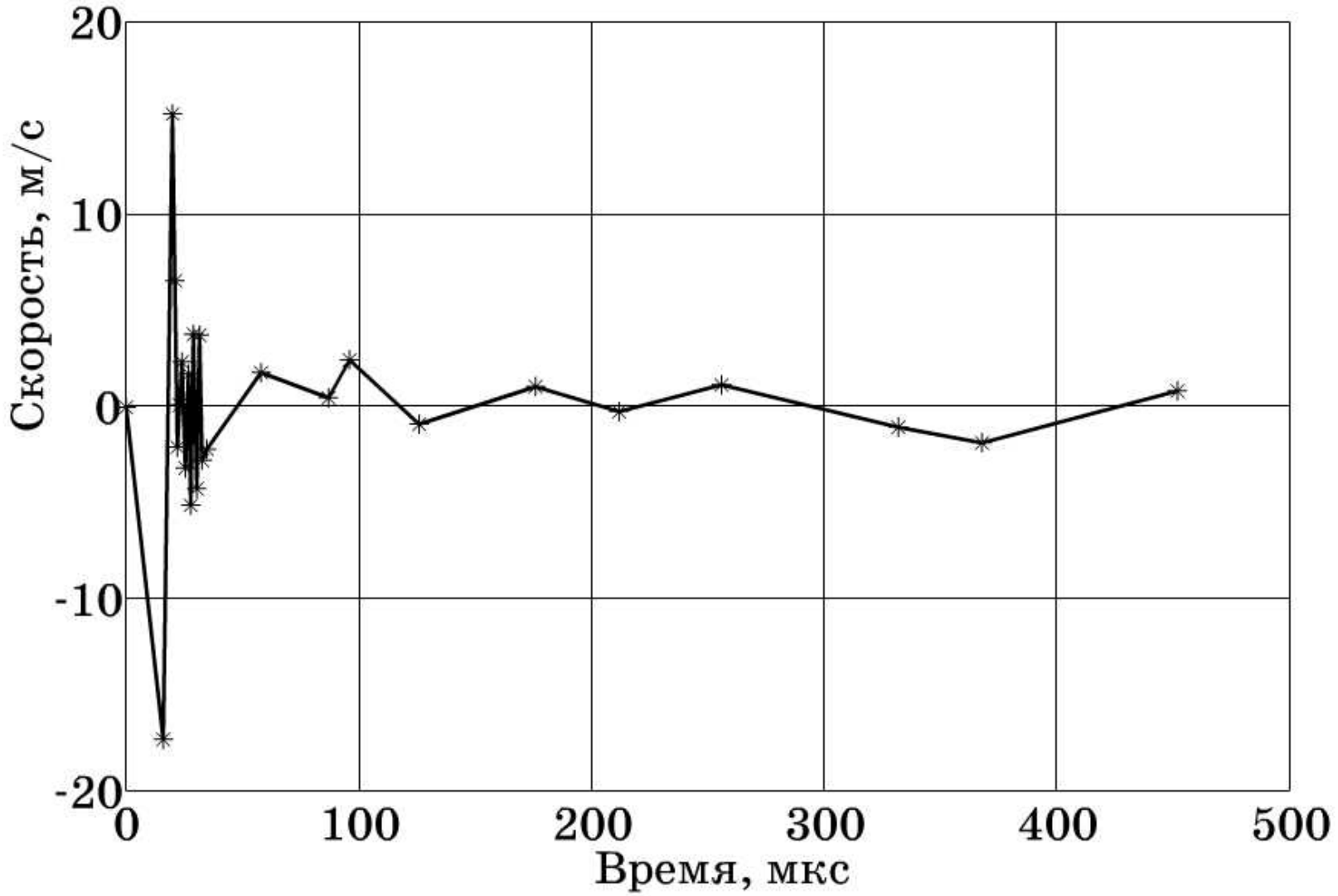
$$\beta_u = \mathrm{sign}(a-2),\ \beta_{u^2} = -\mathrm{sign}(a-2), \lambda_{u_z}(r) = 2r\frac{|a-\eta|}{|a-2|},$$

$$\lambda_{u_z u}(r) = a\frac{|a-4|}{|a-2|}r,\ \lambda_{u_z^2}(r) = \frac{2a^2}{|a-2|}r^2.$$

Материал (скорость ударника)	режим	λ_{u_z}, $\times 10^{-1}$	$\lambda_{u_z u}$, $\times 10^{-2}$	$\lambda_{u_z^2}$, $\times 10^{-4}$	k_u, $\times 10^{4}$	u_∞ м/с	a	Δ,%
Д16(265)	7	0.15	0.63	0.29	1.32	216	2.66	4.78
Д16(315)	7	0.14	0.38	0.11	2.76	270	2.66	6.98
Д16(370)	7	0.11	0.40	0.12	3.01	310	2.66	7.10

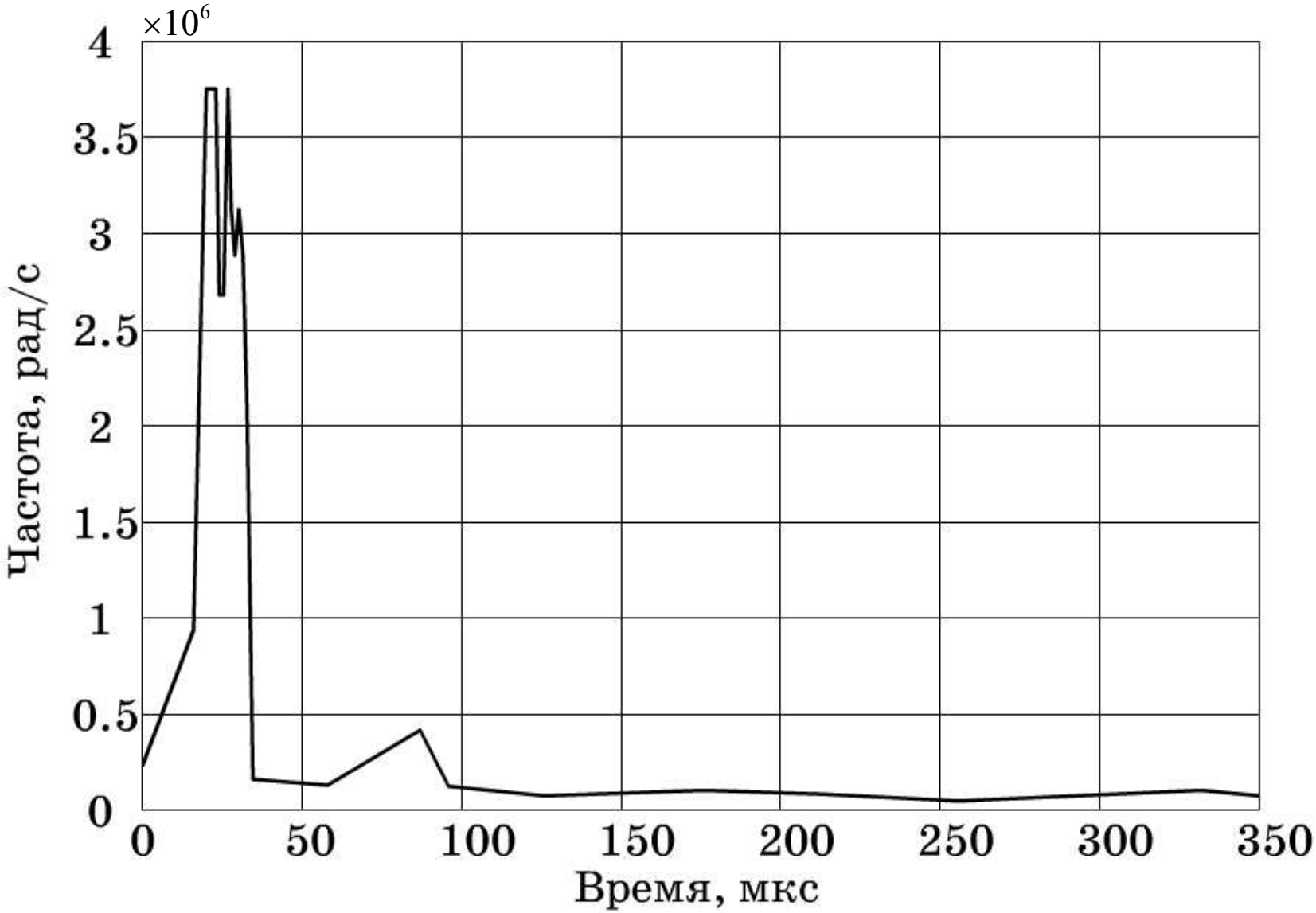
Материал (скорость ударника)	режим	C_l, $\times 10^5$ см/с	C_0, $\times 10^5$ см/с	α, $\times 10^9$	ρ г/см^3	b, $\times 10^{-8}$ См	μ, $\times 10^{11}$ дин/см^2	B, $\times 10^{-4}$ пз	r, $\times 10^{-3}$ см	N_0, $\times 10^7$ см$^{-2}$
Д16(265)	7	6.35	5.47	1.00	2.70	2.86	2.80	1.00	2,25	1.48
Д16(315)	7	6.35	5.47	1.00	2.70	2.86	2.80	1.00	2,25	1.86
Д16(370)	7	6.35	5.47	1.00	2.70	2.86	2.80	1.00	2,25	2.13

Идентификация многомасштабной модели стационарного волнового фронта в релаксирующей среде



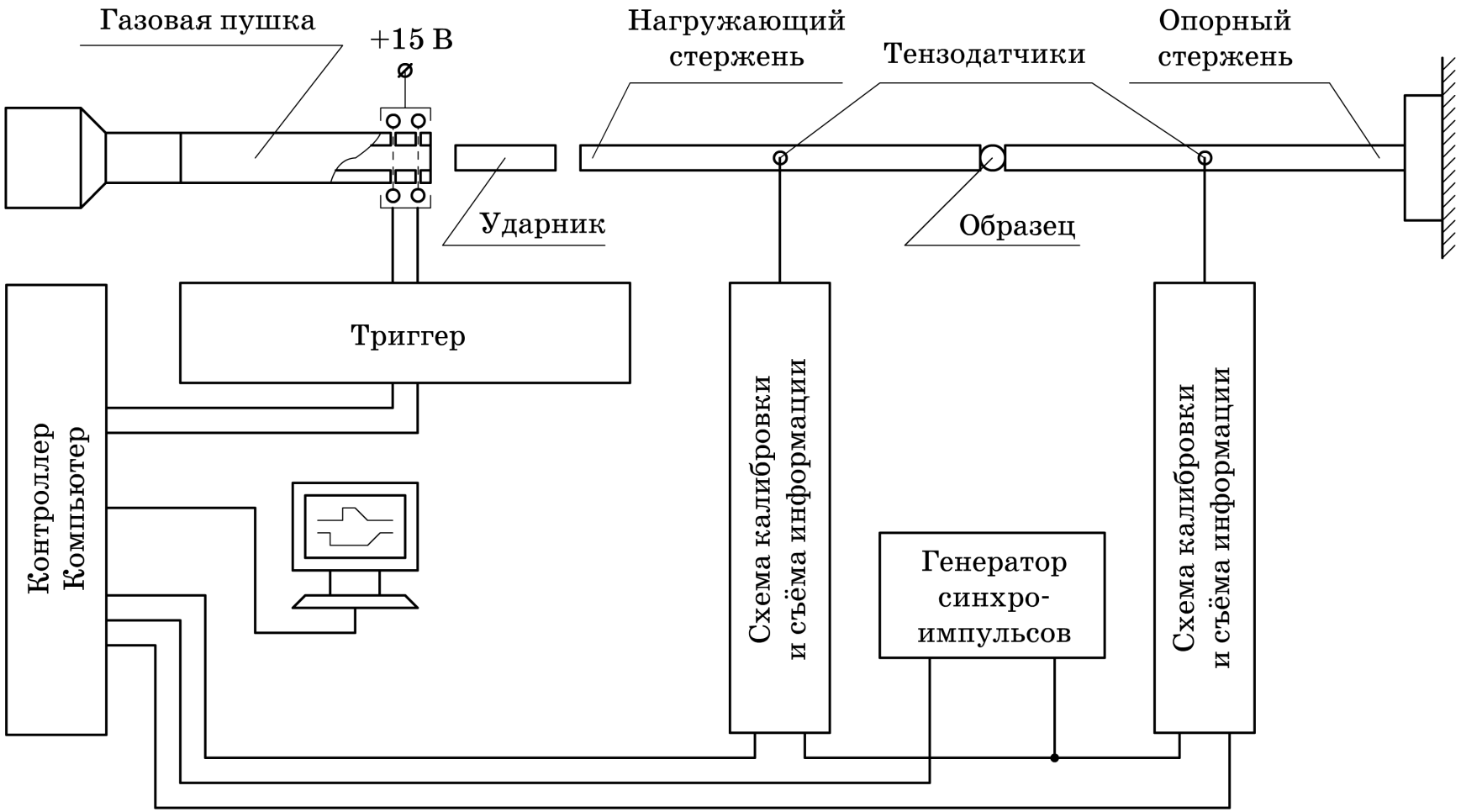
Высокочастотные составляющие профиля скорости (* - данные измерений, - - выход идентифицирующей модели.)

Идентификация многомасштабной модели стационарного волнового фронта в релаксирующей среде

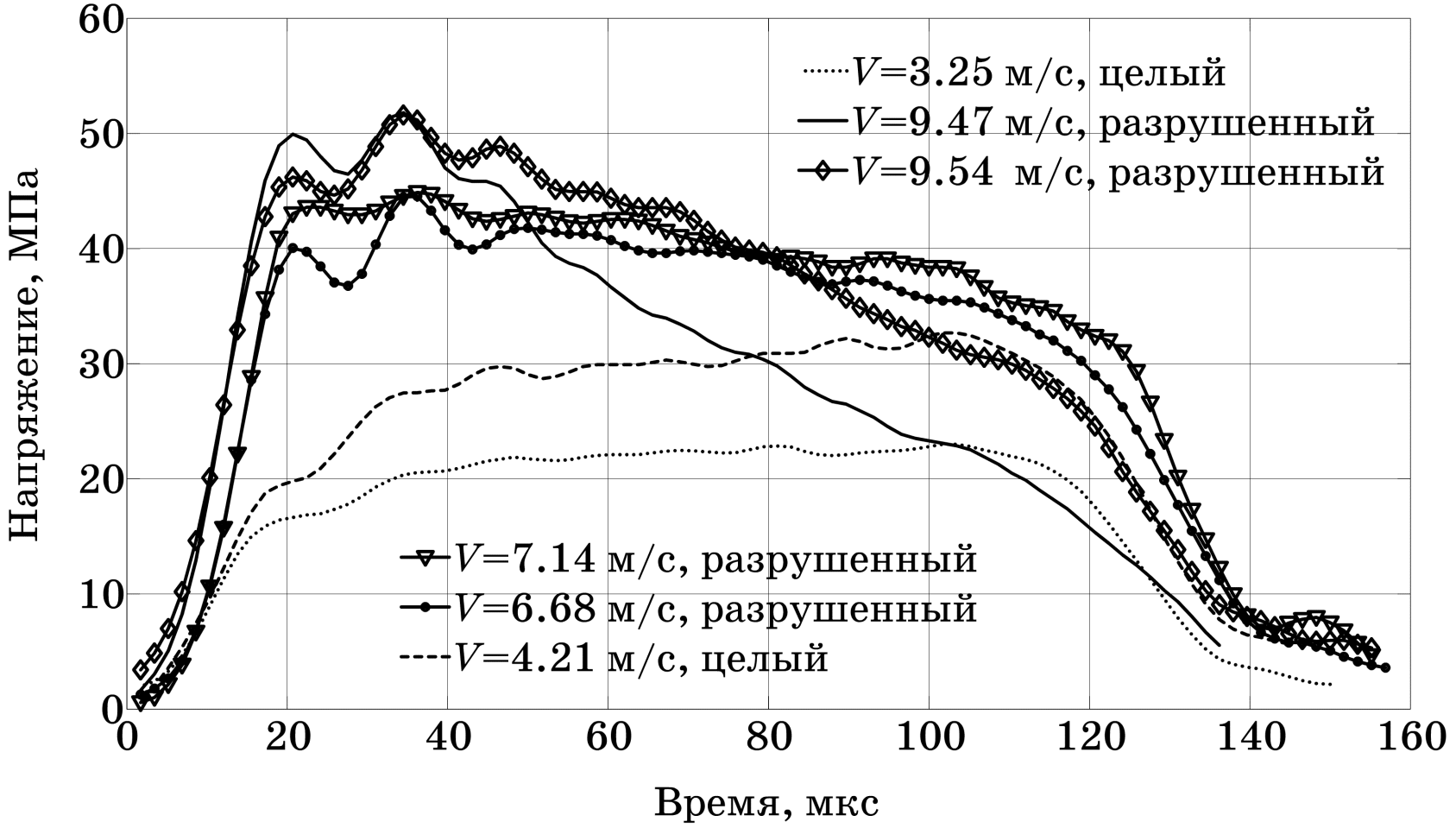


Изменение центральной частоты колебаний фильтра.

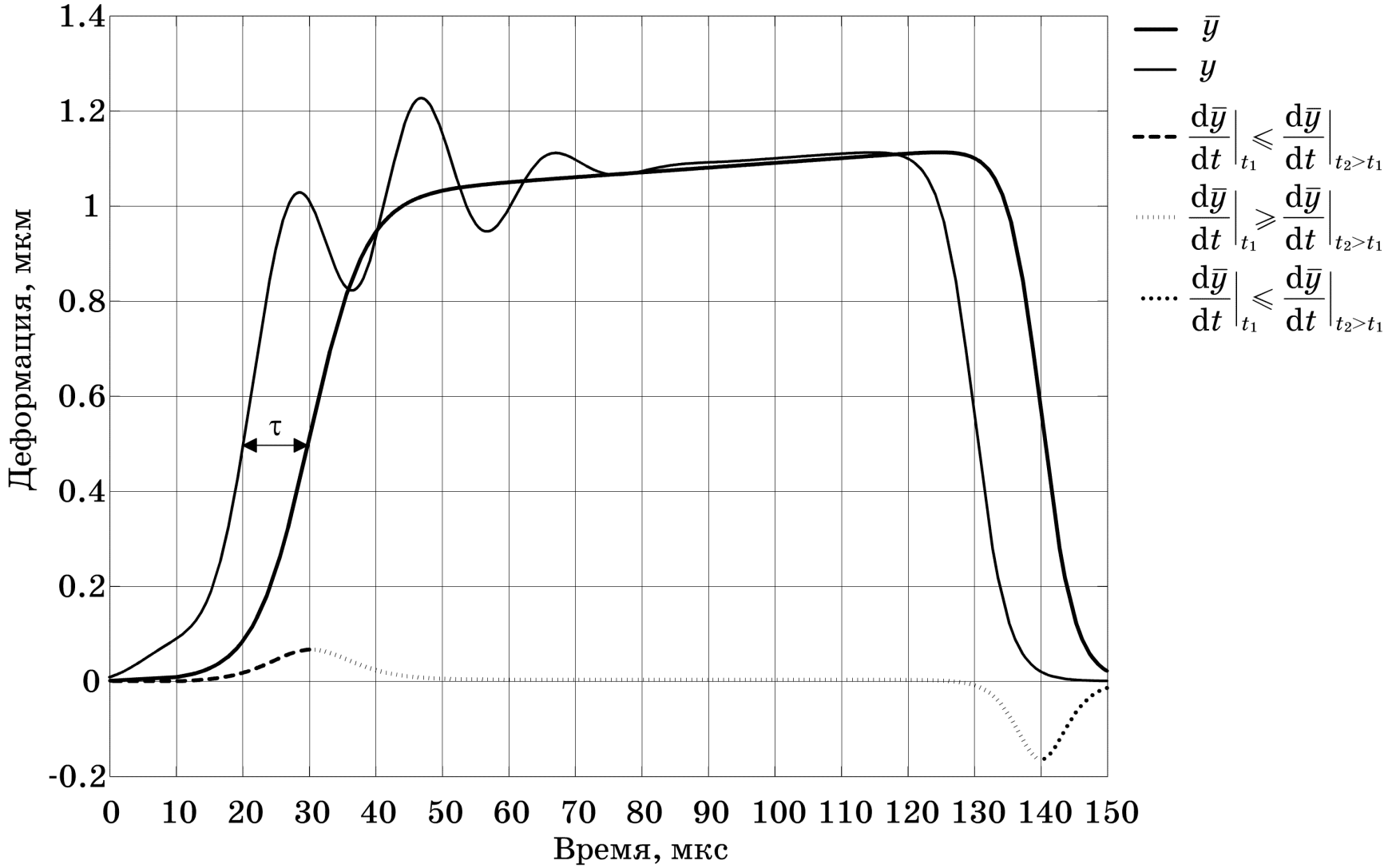
SHPB установка для динамических испытаний материалов



Диаграммы напряжений в образах известняка при динамическом сжатии для разных скоростей ударника (сухой известняк) по экспериментам А.М. Брагова



Модель сигнала



Фильтрация и анализ триады импульсов

$$J=\min_{\overline{y}_{\text{н}},\overline{y}_{\text{п}},\overline{y}_{\text{о}}}\left\{\int_{t_0}^{t_{\text{к}}}\left(y_{\text{н}}-\overline{y}_{\text{н}}\right)^2dt+\int_{t_0}^{t_{\text{к}}}\left(\frac{dy_{\text{н}}}{dt}-\frac{d\overline{y}_{\text{н}}}{dt}\right)^2dt+\int_{t_0}^{t_{\text{к}}}\left(y_{\text{п}}-\overline{y}_{\text{п}}\right)^2dt+\int_{t_0}^{t_{\text{к}}}\left(\frac{dy_{\text{п}}}{dt}-\frac{d\overline{y}_{\text{п}}}{dt}\right)^2dt+\right.$$

$$\left.+\int_{t_0}^{t_{\text{к}}}\left(y_{\text{о}}-\overline{y}_{\text{о}}\right)^2dt+\int_{t_0}^{t_{\text{к}}}\left(\frac{dy_{\text{о}}}{dt}-\frac{d\overline{y}_{\text{о}}}{dt}\right)^2dt\right\},$$

При ограничениях:

$$\frac{d^2}{dt^2}\overline{y}_{\text{н}}\geq 0,\ t\in\left[t_0,t_{\max\left(\frac{d\overline{y}_{\text{н}}}{dt}\right)}\right],\frac{d^2}{dt^2}\overline{y}_{\text{н}}\leq 0,\ t\in\left(t_{\max\left(\frac{d\overline{y}_{\text{н}}}{dt}\right)},t_{\min\left(\frac{d\overline{y}_{\text{н}}}{dt}\right)}\right],\frac{d^2}{dt^2}\overline{y}_{\text{н}}\geq 0,\ t\in\left(t_{\min\left(\frac{d\overline{y}_{\text{н}}}{dt}\right)},t_{\text{к}}\right],$$

$$\frac{d^2}{dt^2}\overline{y}_{\text{п}}\geq 0,\ t\in\left[t_0,t_{\max\left(\frac{d\overline{y}_{\text{н}}}{dt}\right)}\right],\frac{d^2}{dt^2}\overline{y}_{\text{п}}\leq 0,\ t\in\left(t_{\max\left(\frac{d\overline{y}_{\text{п}}}{dt}\right)},t_{\min\left(\frac{d\overline{y}_{\text{п}}}{dt}\right)}\right],\frac{d^2}{dt^2}\overline{y}_{\text{п}}\geq 0,\ t\in\left(t_{\min\left(\frac{d\overline{y}_{\text{п}}}{dt}\right)},t_{\text{к}}\right],$$

$$\frac{d^2}{dt^2}\left(\overline{y}_{\text{о}}+\overline{y}_{\text{п}}\right)\geq 0,\ t\in\left[t_0,t_{\max\left(\frac{d}{dt}\left(\overline{y}_{\text{о}}+\overline{y}_{\text{п}}\right)\right)}\right],\frac{d^2}{dt^2}\overline{y}_{\text{о}}\leq 0,\ t\in\left(t_{\max\left(\frac{d}{dt}\left(\overline{y}_{\text{о}}+\overline{y}_{\text{п}}\right)\right)},t_{\min\left(\frac{d}{dt}\left(\overline{y}_{\text{о}}+\overline{y}_{\text{п}}\right)\right)}\right],$$

$$\frac{d^2}{dt^2}\left(\overline{y}_{\text{о}}+\overline{y}_{\text{п}}\right)\geq 0,\ t\in\left(t_{\min\left(\frac{d}{dt}\left(\overline{y}_{\text{о}}+\overline{y}_{\text{п}}\right)\right)},t_{\text{к}}\right],\overline{y}_{\text{н}}\left(t\right)-\overline{y}_{\text{п}}\left(t\right)-\overline{y}_{\text{о}}\left(t\right)\geq 0.$$

Где:

$y_{\text{н}}$ – нагружающий импульс, $y_{\text{о}}$ – отражённый импульс, $y_{\text{п}}$ – прошедший импульс,

t – время, $\overline{y}_{\text{н}},\overline{y}_{\text{о}},\overline{y}_{\text{п}}$ – импульсы после фильтрации.

$$J = \min_{\bar{\mathbf{y}}_н, \bar{\mathbf{y}}_п, \bar{\mathbf{y}}_о} \left\{ \mathbf{x}^T \mathbf{H} \mathbf{x} \right\},$$

При ограничениях:

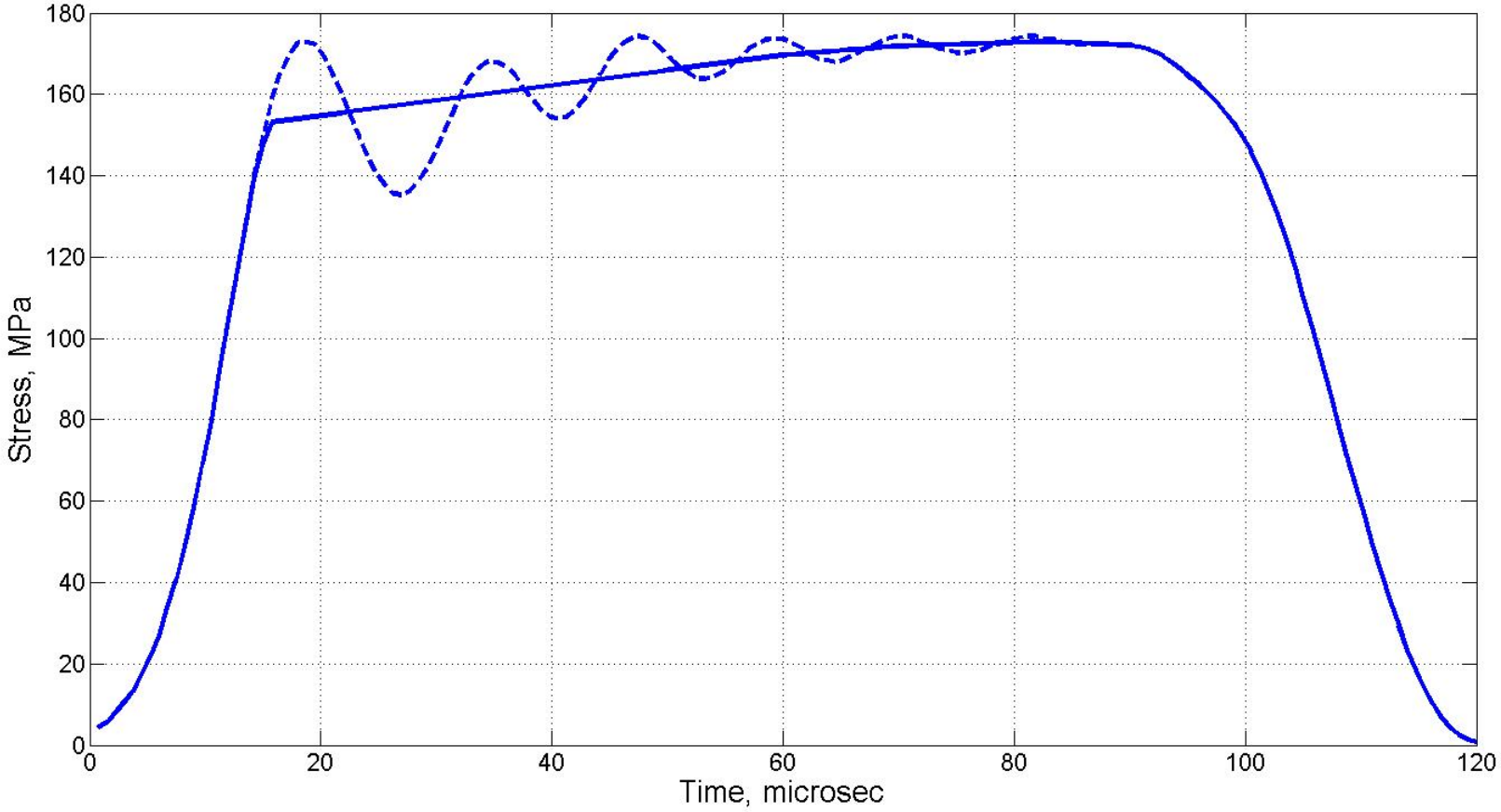
$$\mathbf{\Lambda x} \geq \mathbf{\Lambda y}.$$

Где:

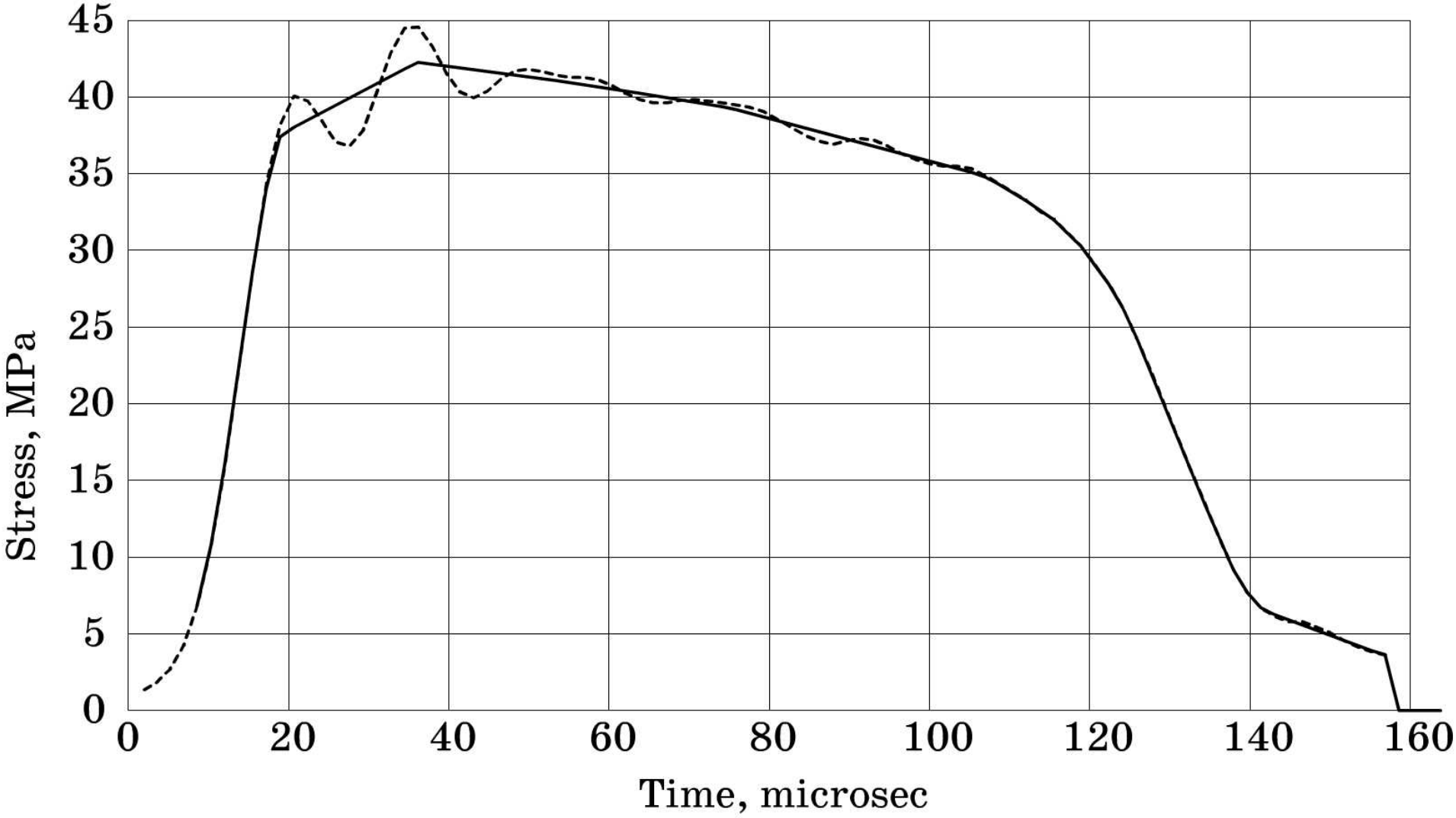
$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_н \\ \mathbf{x}_п \\ \mathbf{x}_о \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_н - \bar{\mathbf{y}}_н \\ \mathbf{y}_п - \bar{\mathbf{y}}_п \\ \mathbf{y}_о - \bar{\mathbf{y}}_о \end{bmatrix}, \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} + \mathbf{H}_1^T \mathbf{H}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{I} + \mathbf{H}_1^T \mathbf{H}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{I} + \mathbf{H}_1^T \mathbf{H}_1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{\Lambda} = \begin{bmatrix} \gamma_н \mathbf{H}_2 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_п \mathbf{H}_2 & 0 \\ 0 & \gamma_{п+о} \mathbf{H}_2 & \gamma_{п+о} \mathbf{H}_2 \\ -\mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} \end{bmatrix}.$$

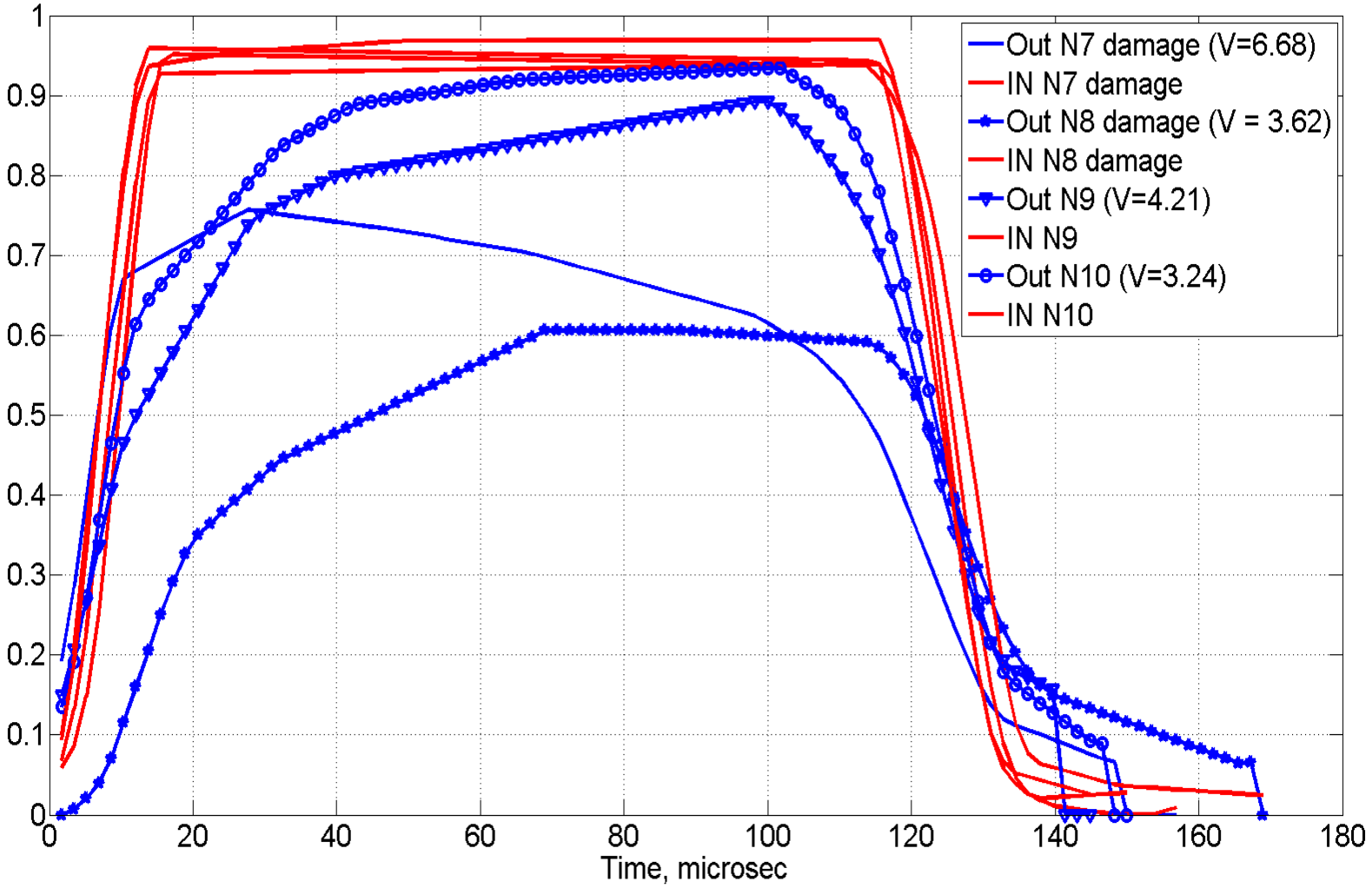
Stress of the whole sample of granite
(- - - - without filtering, --- - with filtering)



Stress of the destroyed sample Limestone
(- - - - without filtering, --- - with filtering)



Масштабированные Нагружающие (красные) и Прошедшие (синие) импульсы разрушенных и целых образцов



$$J = \min_{\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}} \left\{ \Phi\left(\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}\right) \right\},$$

При ограничениях:

$$\tau_{\min} \le \tau_{\text{п}} \le \tau_{\max}, \tau_{\min} \le \tau_{\text{о}} \le \tau_{\max},$$

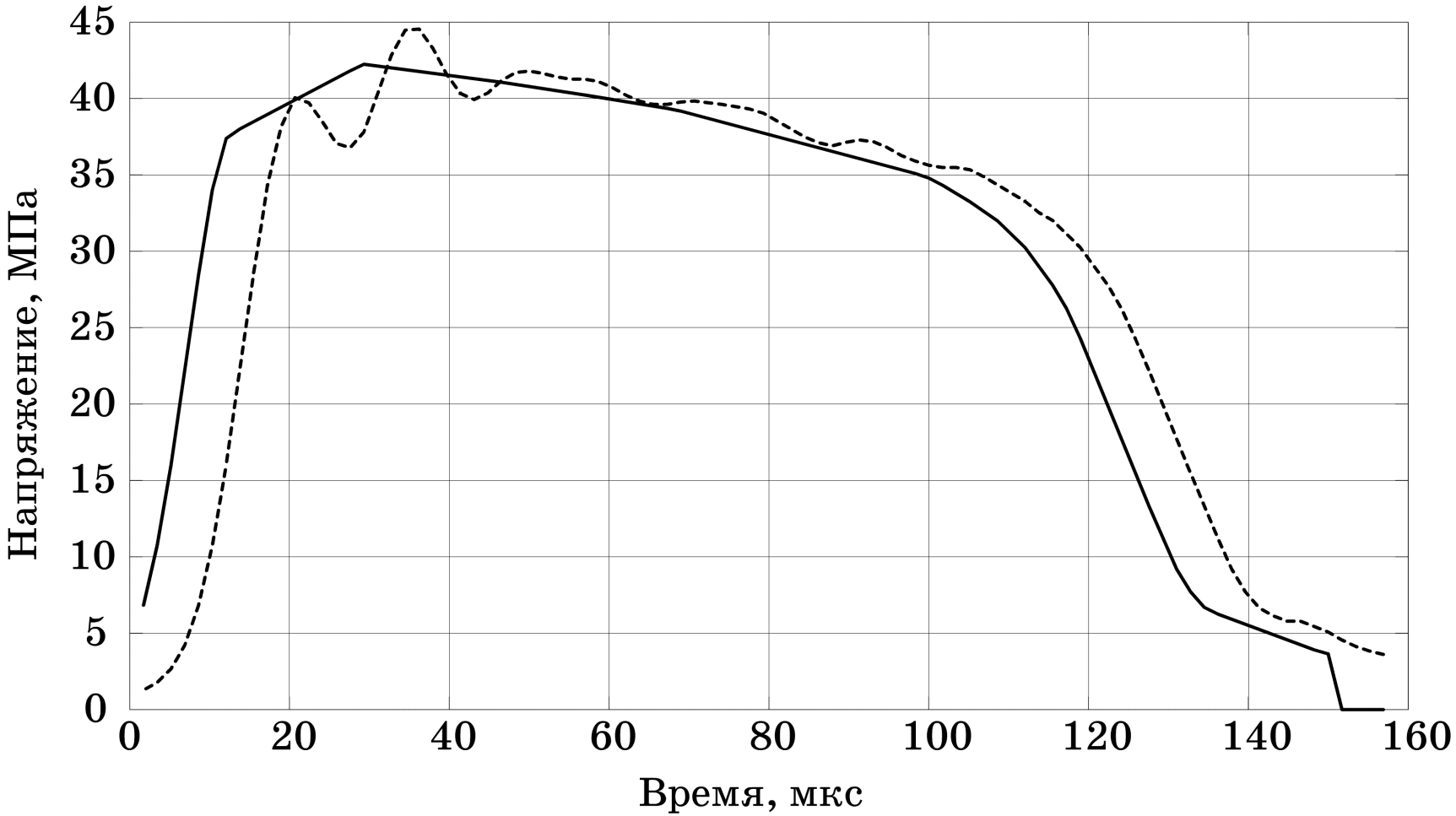
Где:

$$\Phi\left(\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}\right) = \min_{\bar{\mathbf{y}}_{\text{н}},\bar{\mathbf{y}}_{\text{п}},\bar{\mathbf{y}}_{\text{о}}} \left\{ \mathbf{x}\left[\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}\right]^{\text{T}} \mathbf{H}\mathbf{x}\left[\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}\right] \right\}, \text{ при } \mathbf{\Lambda x}\left[\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}\right] \ge \mathbf{\Lambda y}\left[\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}\right],$$

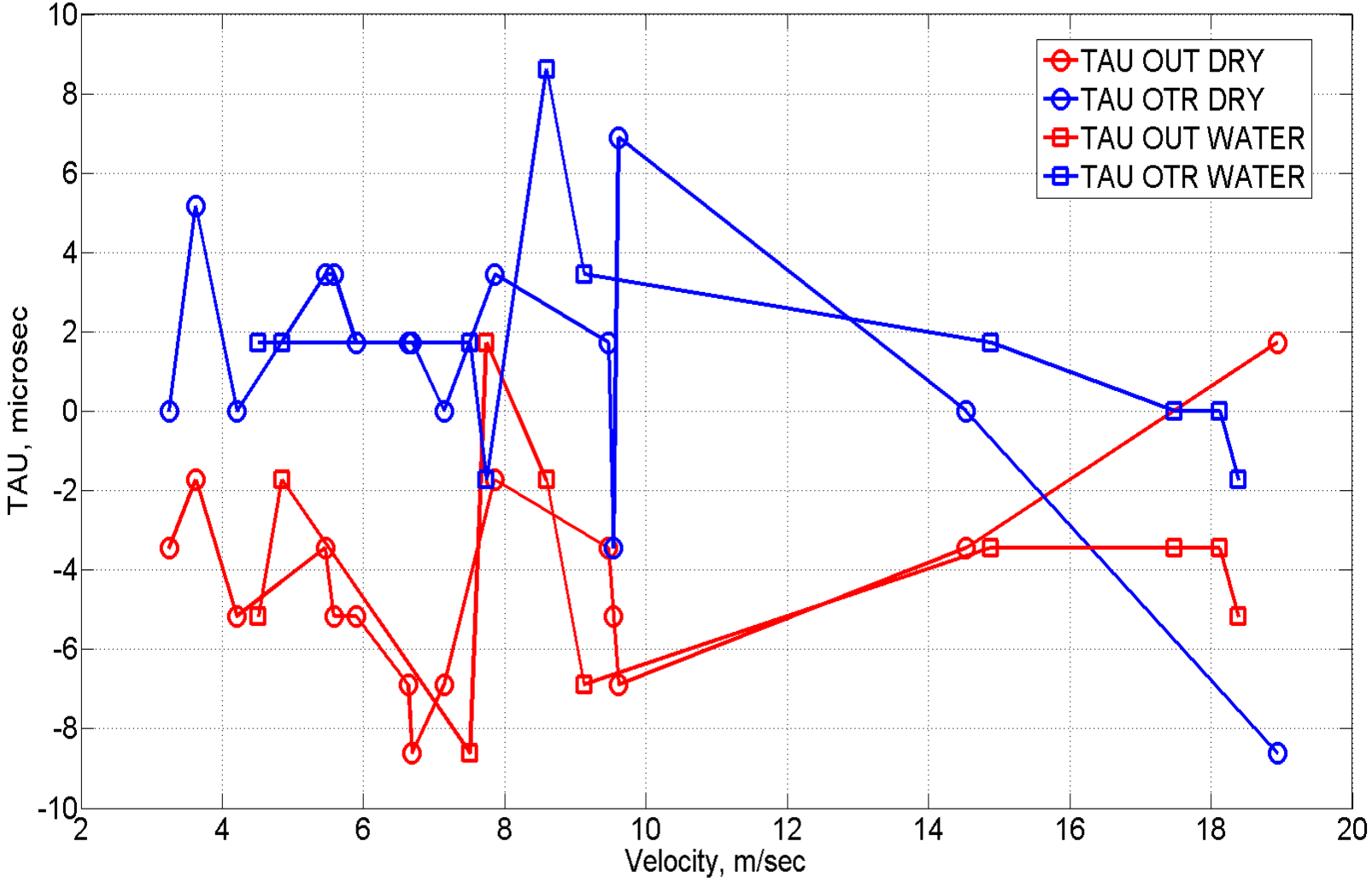
$\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}$ – фазовые сдвиги прошедшего и отраженного импульсов относительно нагружающего

$$\mathbf{x}\left[\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}\right] = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{\text{н}} - \bar{\mathbf{y}}_{\text{н}} \\ \mathbf{A}^{\tau_{\text{п}}}\mathbf{y}_{\text{п}} - \bar{\mathbf{y}}_{\text{п}} \\ \mathbf{A}^{\tau_{\text{о}}}\mathbf{y}_{\text{о}} - \bar{\mathbf{y}}_{\text{о}} \end{bmatrix}, \mathbf{y}\left[\tau_{\text{п}},\tau_{\text{о}}\right] = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{\text{н}} \\ \mathbf{A}^{\tau_{\text{п}}}\mathbf{y}_{\text{п}} \\ \mathbf{A}^{\tau_{\text{о}}}\mathbf{y}_{\text{о}} \end{bmatrix}. \mathbf{y}_{\text{п}}\left[\tau_{\text{п}}\right] = \mathbf{A}^{\tau_{\text{п}}}\mathbf{y}_{\text{п}}, \mathbf{y}_{\text{о}}\left[\tau_{\text{о}}\right] = \mathbf{A}^{\tau_{\text{о}}}\mathbf{y}_{\text{о}}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 & 0 \\ & & & \ddots & & \\ 0 & 0 & 0 & & 1 & 0 \end{bmatrix}_{n \times n},$$

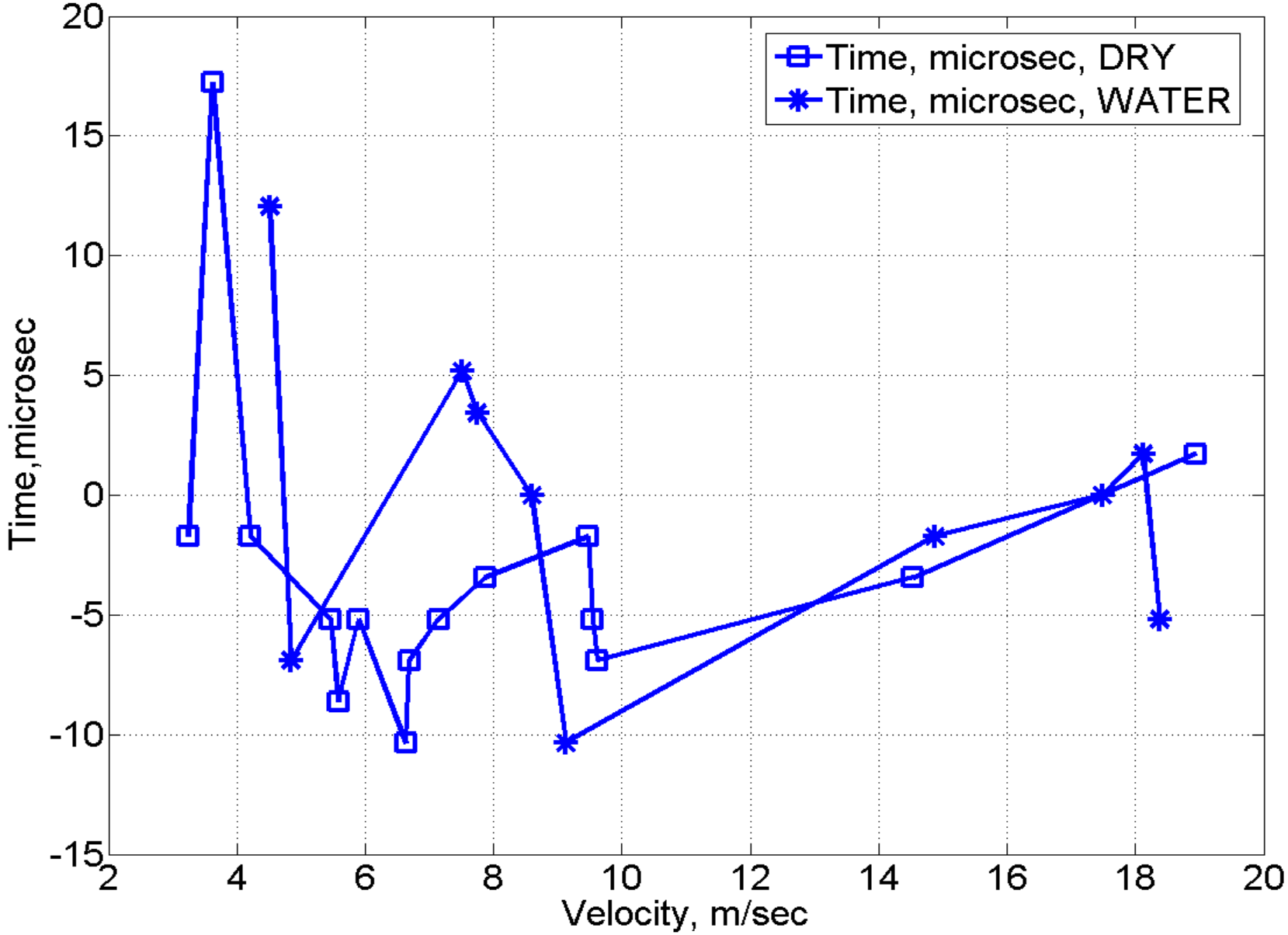
Фильтрация и анализ триады импульсов с учётом фазового сдвига



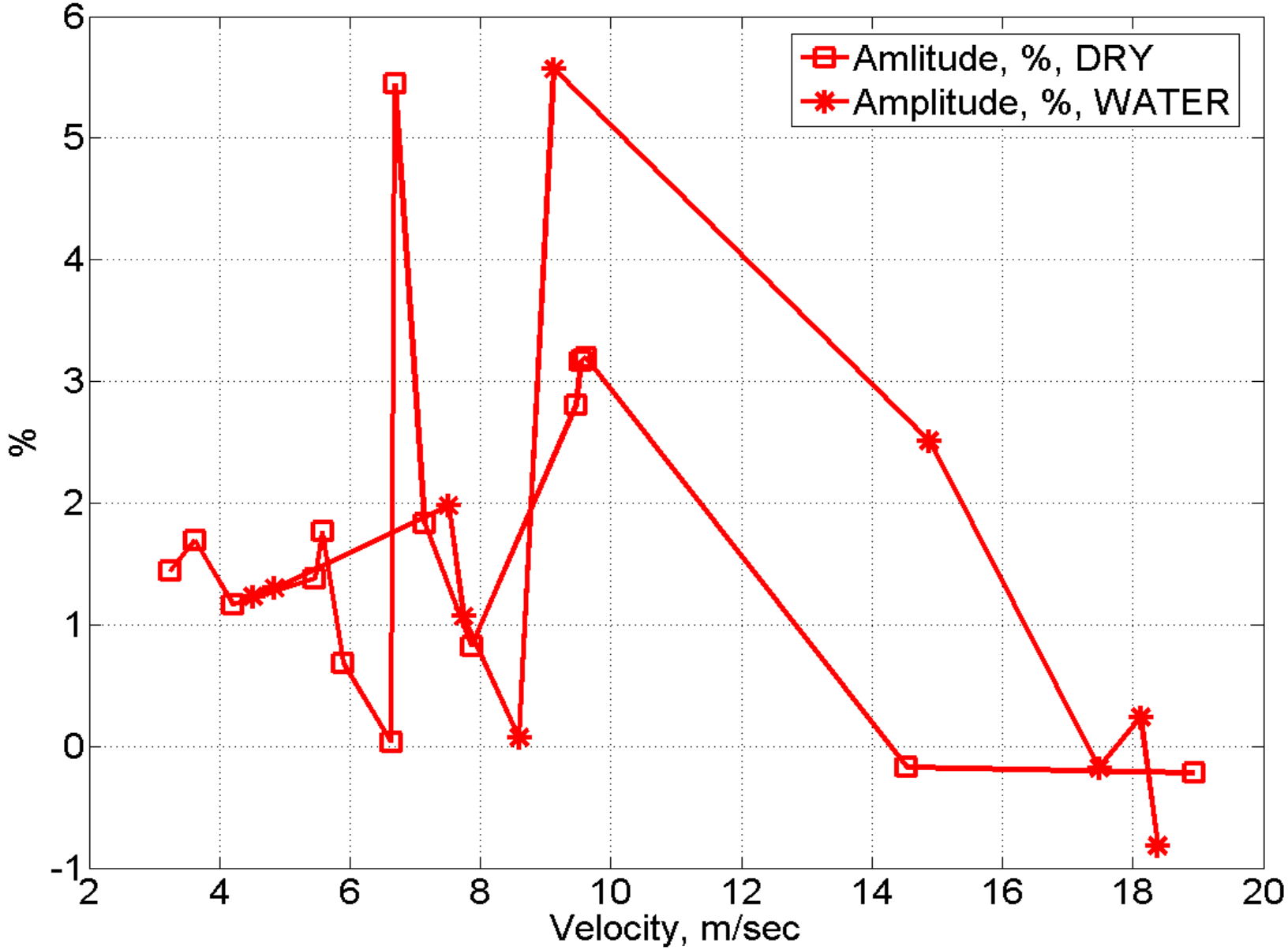
Зависимость фазовых сдвигов импульсов от скорости нагружения (мкс)

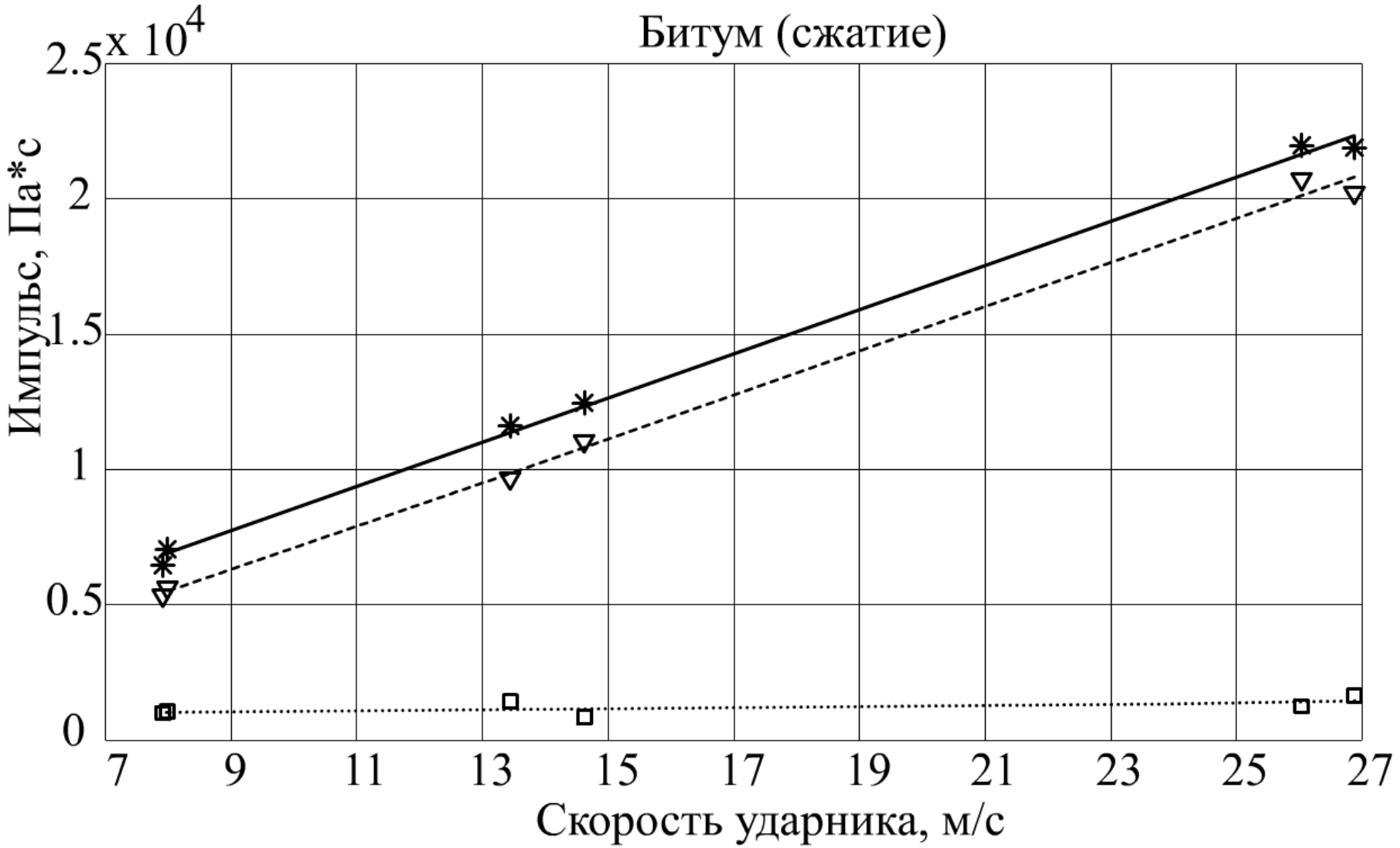


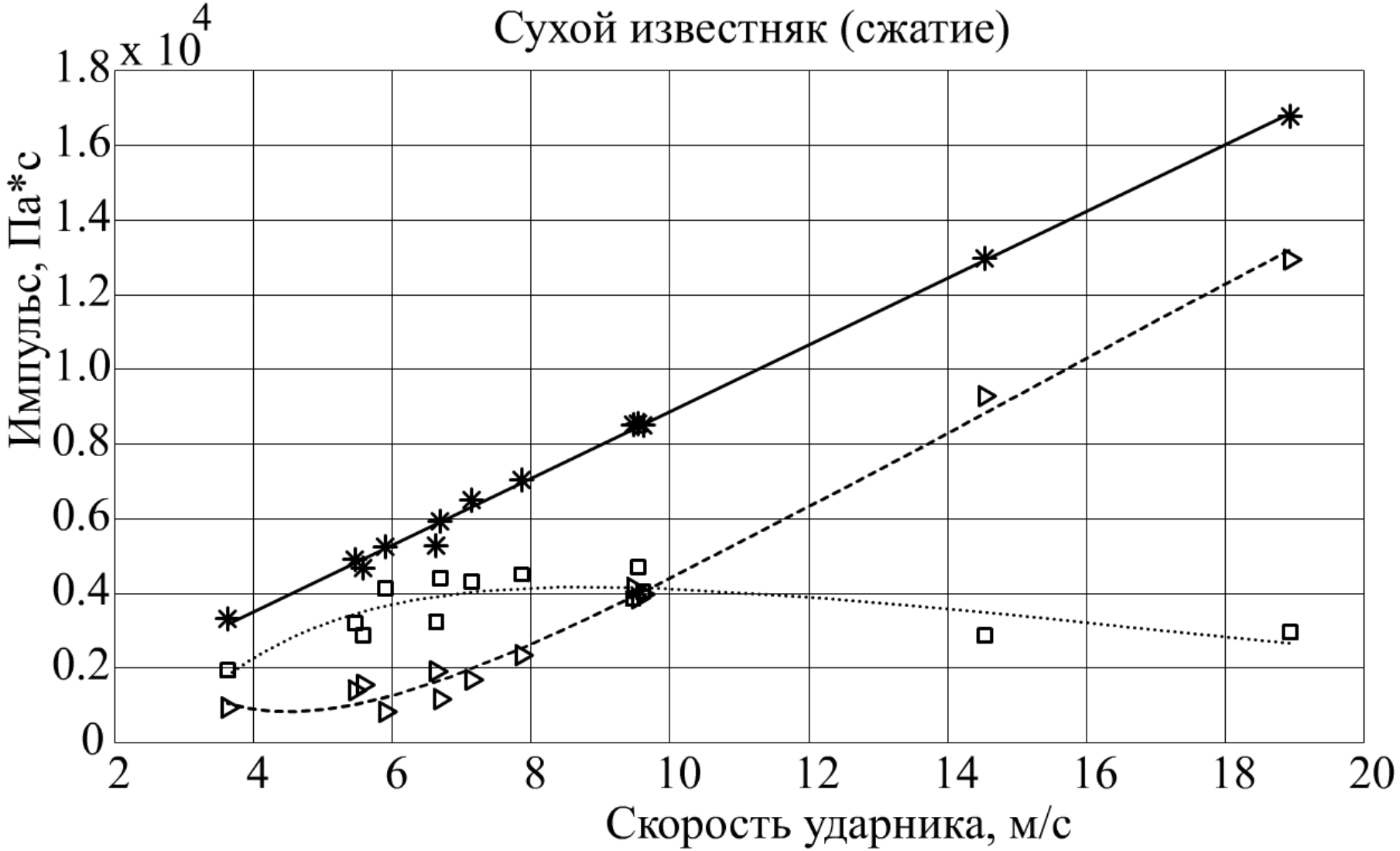
Зависимость фазовых сдвигов максимумов импульсов от скорости нагружения (мкс)

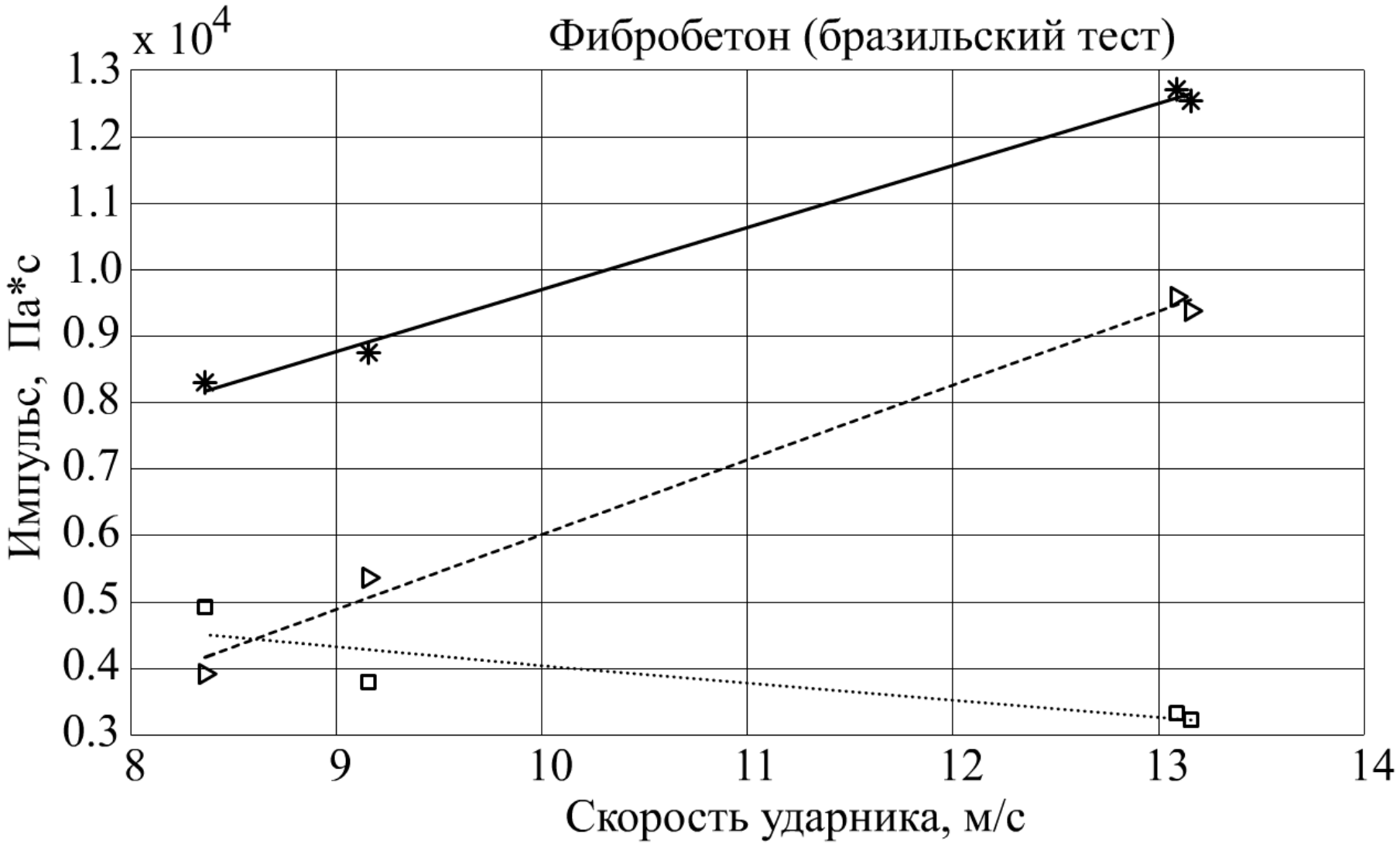


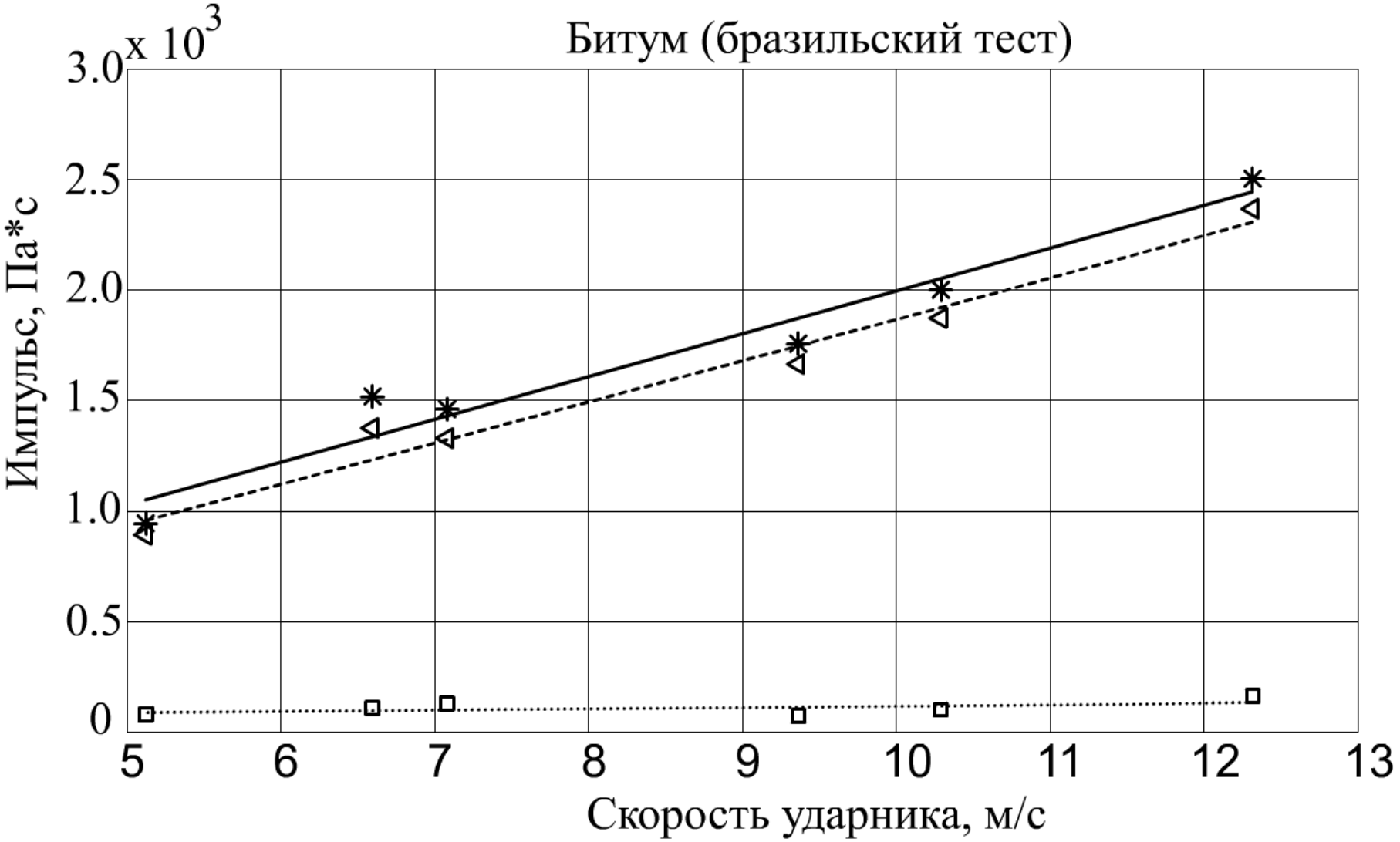
Зависимость изменения амплитуды максимумов импульсов от скорости нагружения (%)

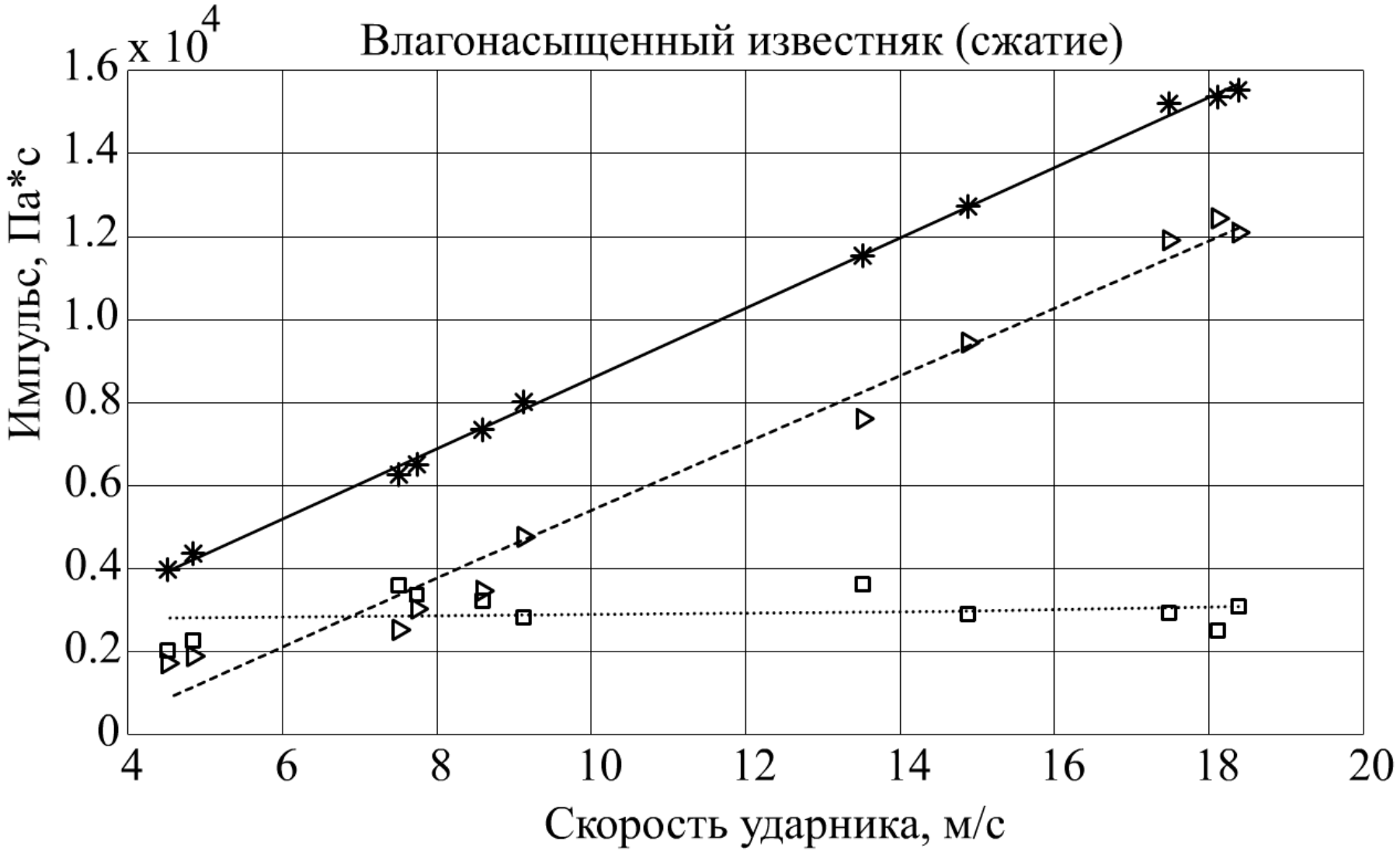



Битум (сжатие)
x 10^4
2.5
2
1.5
1
0.5
0
Импульс, Па*с
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25
27
Скорость ударника, м/с

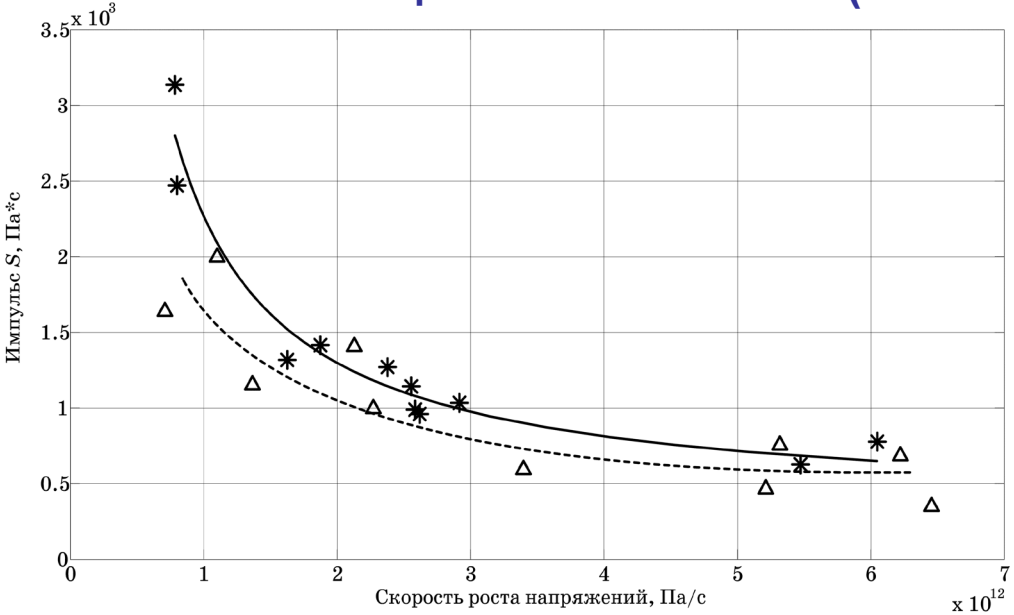

Сухой известняк (сжатие)
x 10^4
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Импульс, Па*с
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Скорость ударника, м/с


Фибробетон (бразильский тест)
x 10^4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
Импульс, Па*с
8
9
10
11
12
13
14
Скорость ударника, м/с

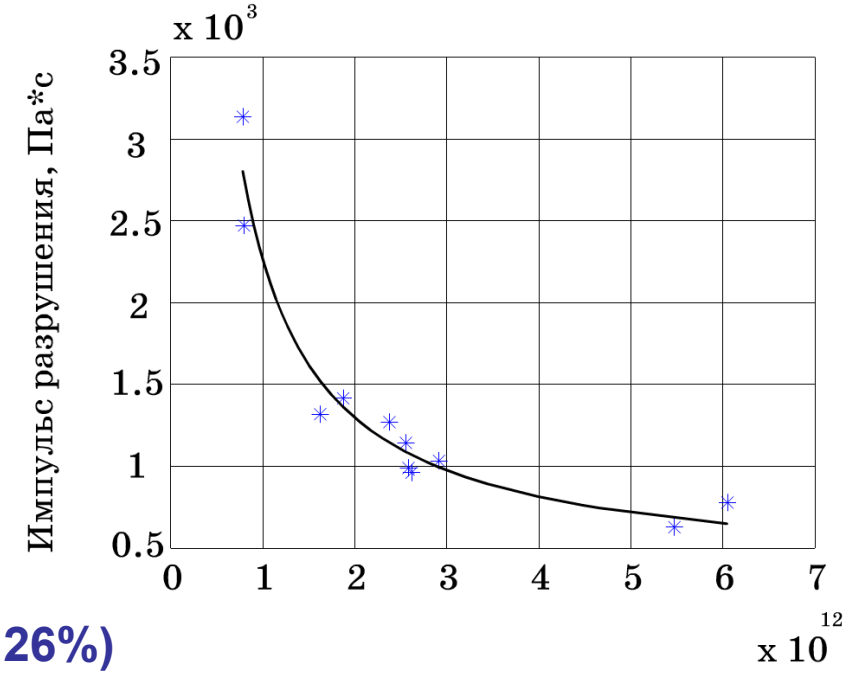

Битум (бразильский тест)
x 10^3
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
Импульс, Па*с
5
6
7
8
9
10
11
12
13
Скорость ударника, м/с


Влагонасыщенный известняк (сжатие)
x 10^4
Импульс, Па*с
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Скорость ударника, м/с

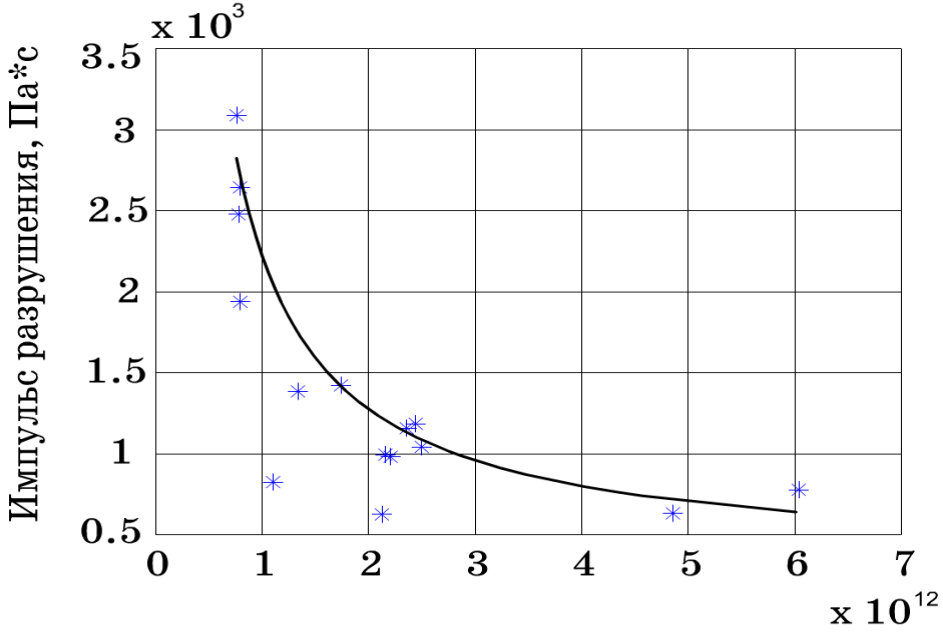
влагонасыщенный известняк (СКО 10%)



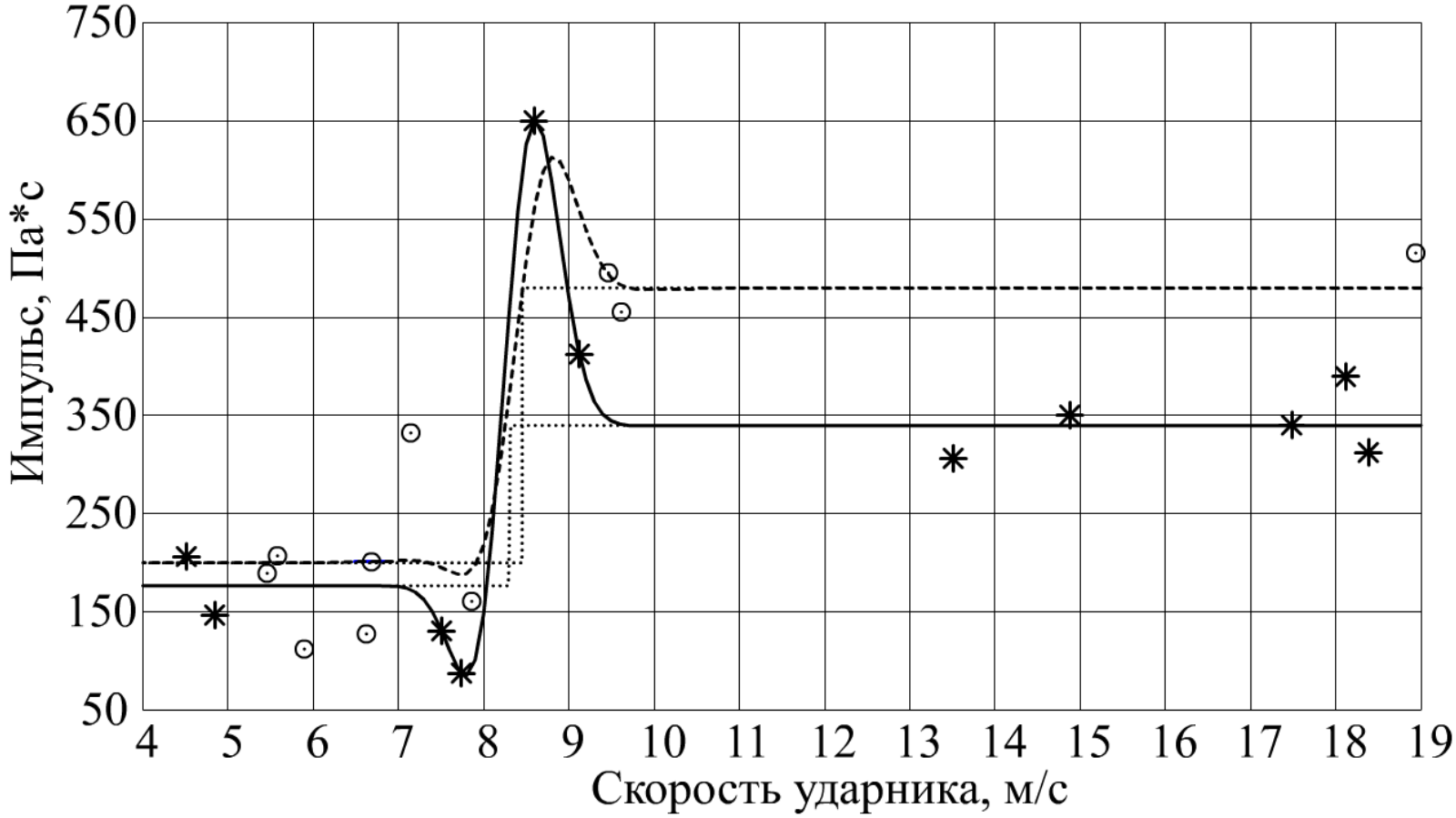
сухой известняк (СКО 11%)



сухой известняк (без фильтрации СКО 26%)



$$S(\sigma_t) = \frac{a_1}{\sigma_t} + a_0.$$



Была определена разница между нагружающим импульсом системы и суммой импульсов прошедшего и отражённого сигналов. Зависимость этой величины от скорости ударника для сухого (пунктирный график, о – данные без аппроксимации) и влагонасыщенного (сплошной график, * - данные без аппроксимации) известняков

Спасибо за внимание!

ГУАП

Институт киберфизических систем

Завалишинские чтения

Завалишинские чтения 2025

Обеспечение дополнительных функциональных возможностей роботов-манипуляторов

Медунецкий Виктор Михайлович
доктор технических наук, профессор

Профессор ГУАП каф. №32
Профессор Университета ИТМО

Санкт-Петербург

2025

Обеспечение дополнительных функциональных возможностей роботов-манипуляторов

Автоматизация ……Роботизация……. Производственно-технологическая гибкость

В современных условиях для предприятий, которые выпускают многономенклатурную продукцию, особо важна технологическая гибкость. Эта задача достаточно сложная и имеет различные направления по её решению. Каждое направление содержит соответствующие возможности по совершенствованию технологических процессов и их оптимизации.

Обеспечение дополнительных функциональных возможностей роботов-манипуляторов

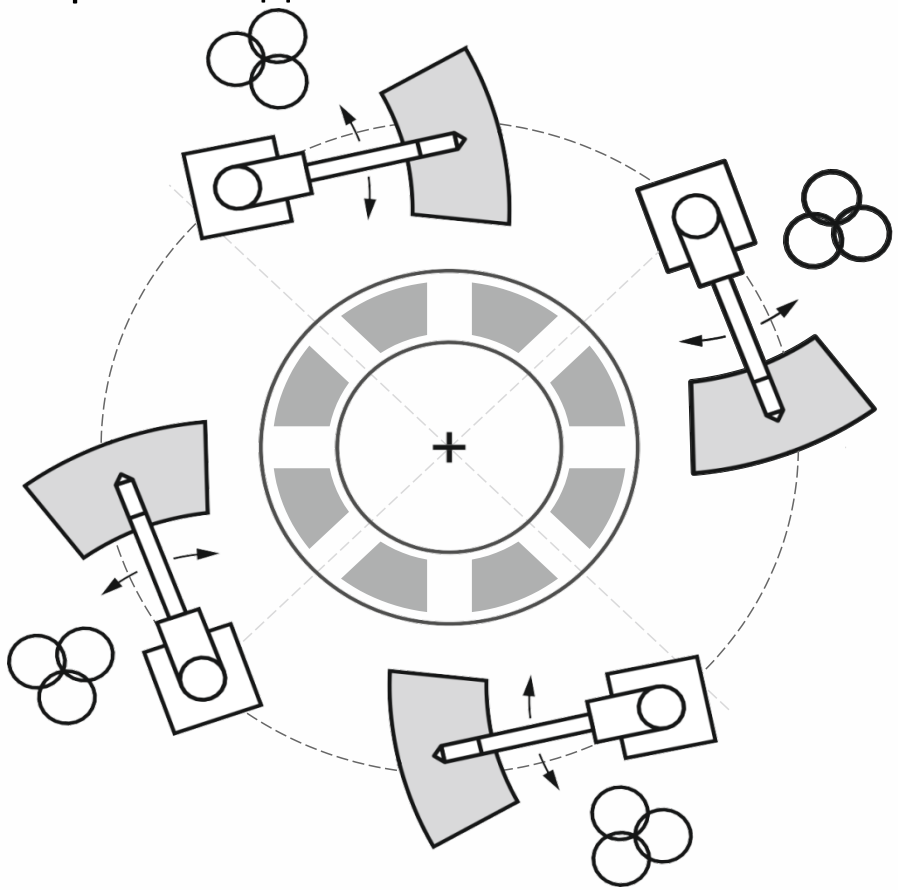
Особую значимость повышения технологической гибкости имеется на сборочно-комплектующих производственных линиях, так как они существенно влияют на себестоимость изделий.

Поэтому, **целью** преобразования производственно-технологического оборудования является необходимость обеспечить быстрый переход от выпуска одного промышленного изделия на выпуск другого.

Надо отметить, что в настоящее время немалую роль в обеспечении технологической гибкости отводится программным средствам управления и так называемым универсальным (в определённом диапазоне) захватам роботов-манипуляторов, которые расширяют их технологические возможности.

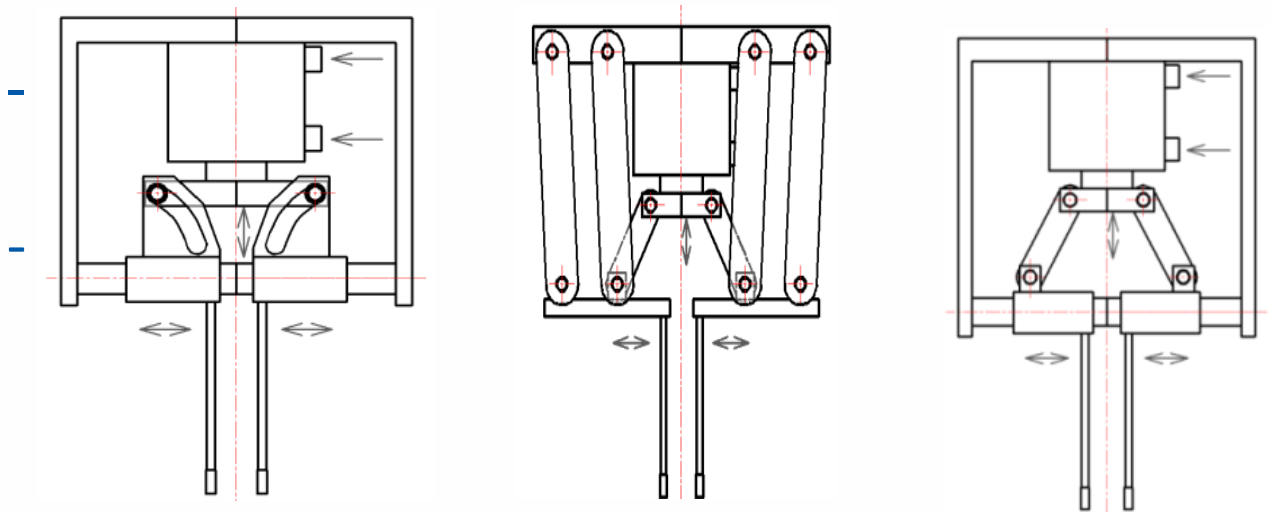
Обеспечение дополнительных функциональных возможностей роботов-манипуляторов

Для сборки изделий с небольшими массо-габаритными параметрами (характеристиками) рекомендуется круговое расположение роботов относительно поворотно-кругового распределительного устройства для передачи деталей на сборочные операции в соответствии с конкретно заданным технологическим процессом сборки



Обеспечение дополнительных функциональных возможностей роботов-манипуляторов

Для сборки изделий с небольшими массо-габаритными параметрами (характеристиками) целесообразно использовать захваты стержневого и «пинцетного» типа



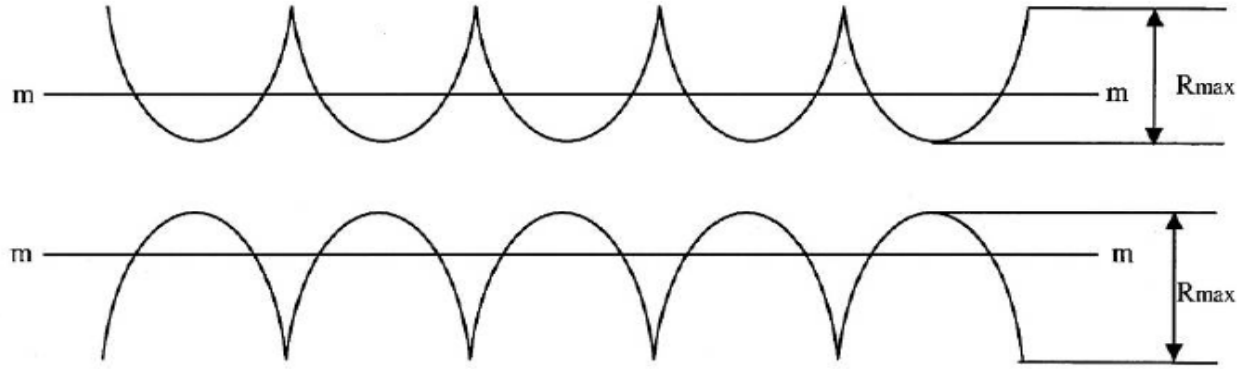
Обеспечение дополнительных функциональных возможностей роботов-манипуляторов

- Захват со специальными и сменными накладками различной конфигурации

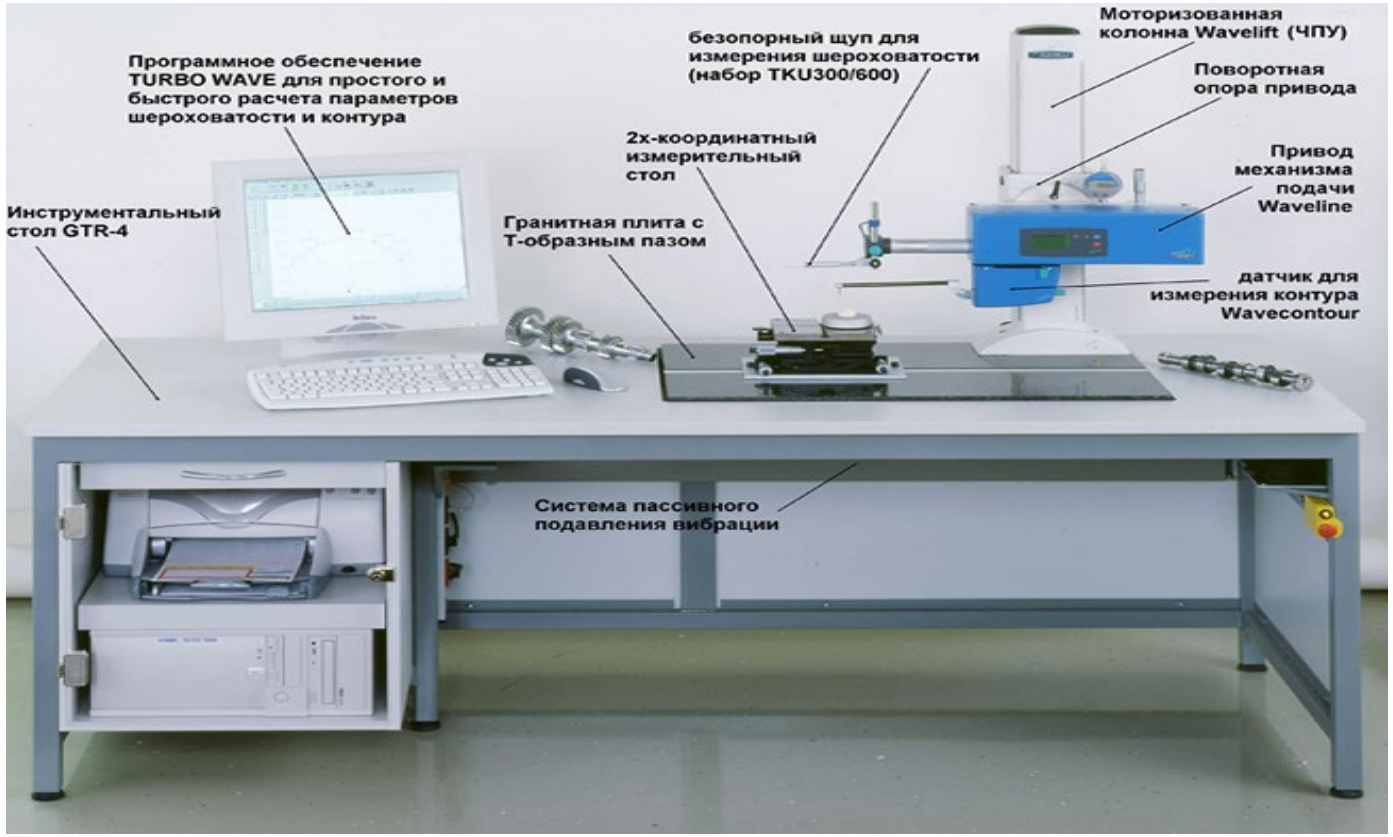
- Приспособления на рабочем столе робота:
-а) плоскости с координирующими выступами и пазами,
-б) зажимные устройства с упругими элементами,
-в) зажимные электромеханические устройства,
-г) устройства для замены сменных элементов захвата.

Практический опыт показывает, что для миниатюрных деталей необходимо учитывать шероховатость поверхности захватных элементов и захватываемых объектов (деталей)

Характерные профили микрорельефа двух поверхностей с одинаковыми параметрическими критериями, но с различными функциональными свойствами



Общий вид профилографа HommelTester T8000



В качестве итога

Для повышения уровня технологической гибкости для сборки малогабаритных изделий в мелкосерийном производстве рекомендуется использовать захваты стержневого или «пинцетного» типа со сменными элементами различной конфигурации. При этом, необходимо использовать координатно-фиксирующие устройства (как пассивные, так и адаптивные), которые управляются из общего центра управления сборочным технологическим процессом, а также использовать управляемые устройства для замены съемных элементов захвата. И ВСЁ указанное - в едином комплекте

Спасибо за внимание!

Развитие систем воздушного охлаждения турбогенераторов: ограничивающие факторы, преимущества и перспективы

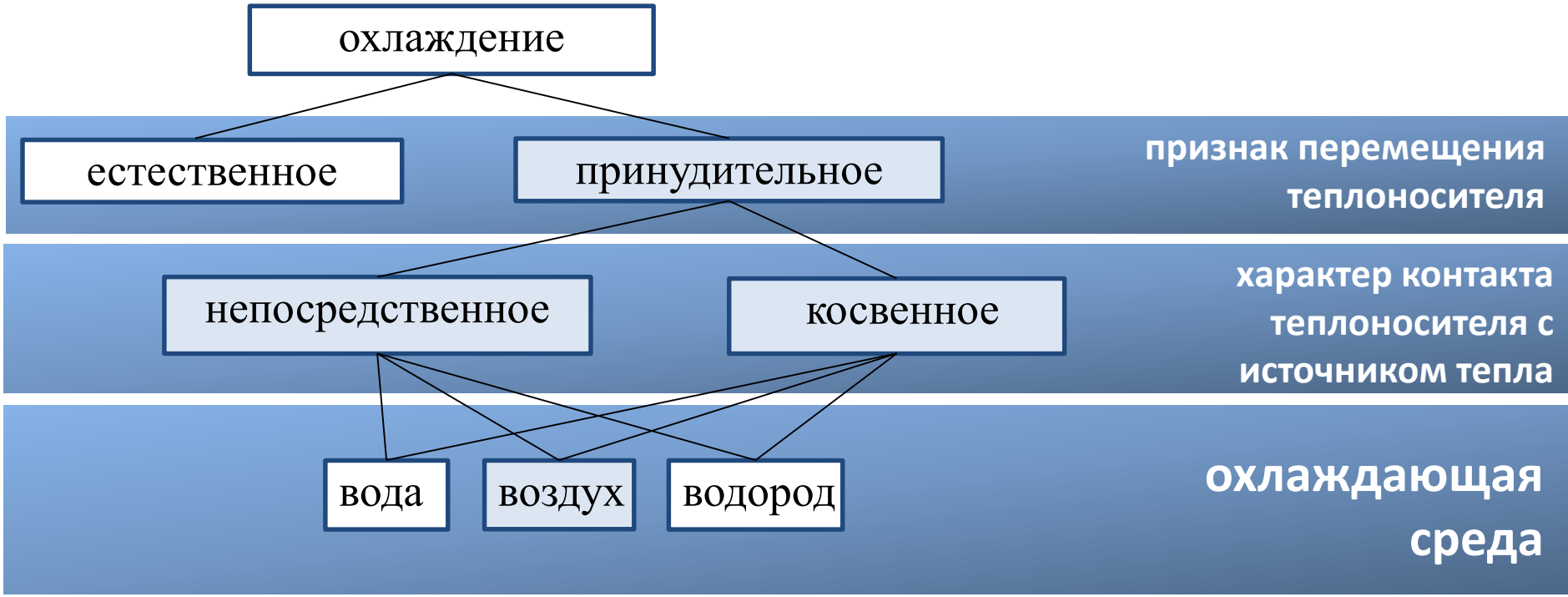
Коллектив авторов:

Карташова Татьяна Николаевна
начальник сектора, АО «Силовые машины»,
к.т.н.

Прокофьев Алексей Юрьевич
главный специалист, АО «Силовые машины»,
к.т.н.

Филин Алексей Григорьевич
главный специалист, АО «Силовые машины»,
к.т.н., учёный секретарь НТС ЭЛС
доцент кафедры 32 института киберфизических систем ГУАП
(докладчик)

Турбогенераторы – высокомощные электрические машины, предназначенные для выработки электрической энергии на тепловых и атомных электростанциях, приводимые во вращение паровой или газовой турбиной.



Преимущества турбогенераторов с воздушным охлаждением

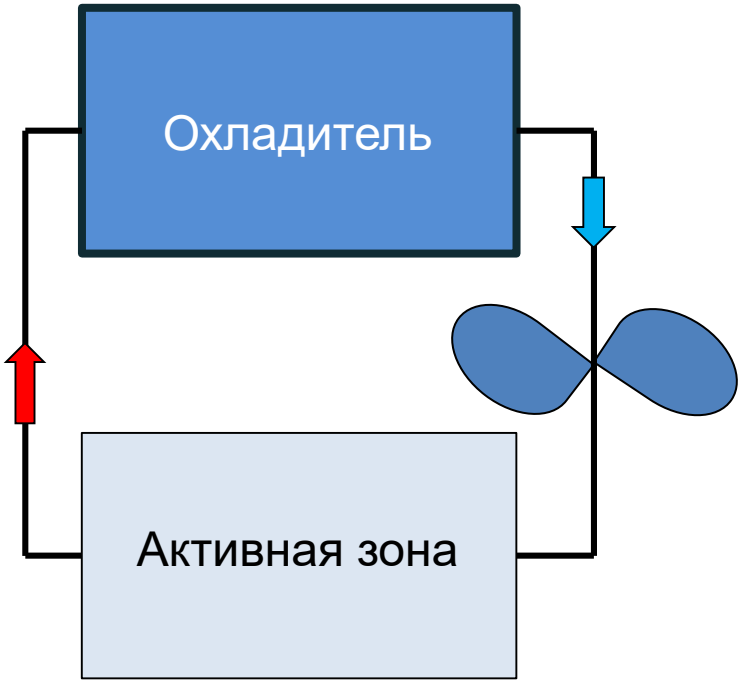
- Отсутствие течей воды и утечек водорода в системе охлаждения генератора
- Взрывобезопасность
- Снижение затрат на эксплуатацию
- Удобство обслуживания и проведения профилактических ремонтов

Класс нагревостойкости изоляции	Y	A	E	B	F	H	C
Максимальная допустимая температура, ^{0}C	90	105	120	130	155	180	>180

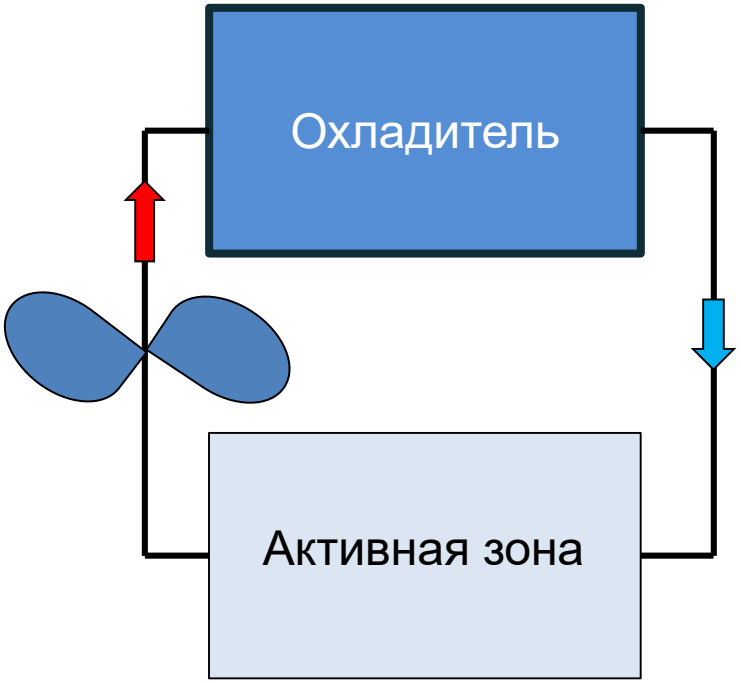
Схема вентиляции – конструктивная организация движения охлаждающего агента по вентиляционному тракту турбогенератора с целью обеспечения эффективного теплоотвода.

На примере замкнутой схемы охлаждения:

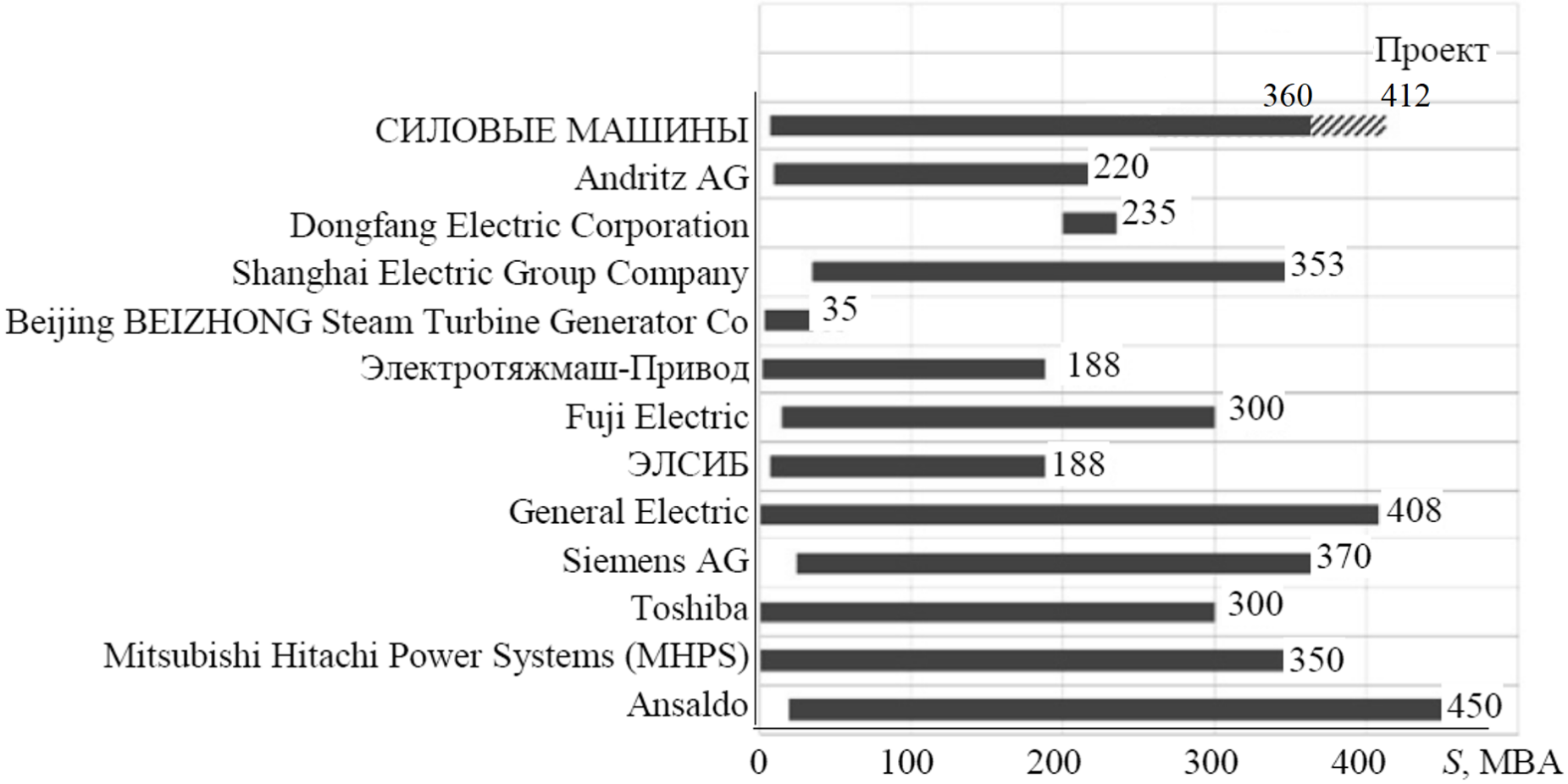
Нагнетательная схема



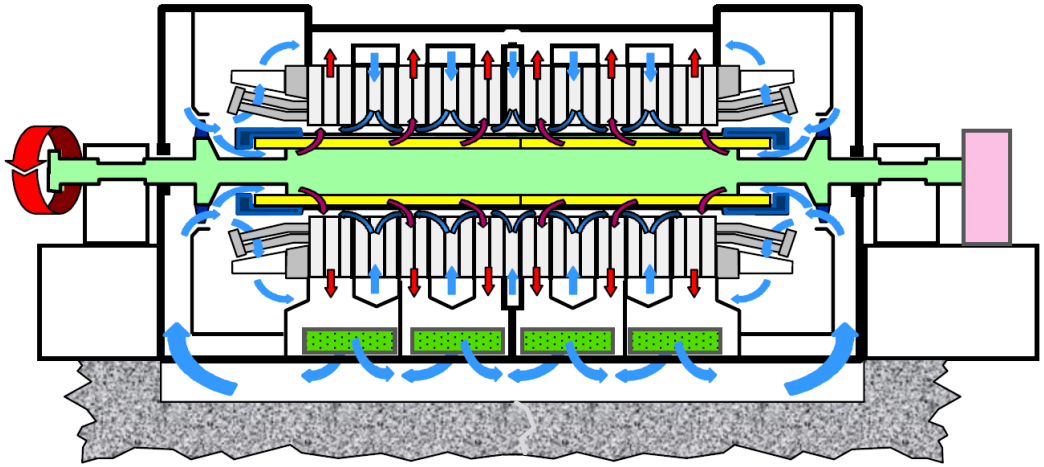
Вытяжная схема



Мировые лидеры в производстве мощных турбогенераторов с воздушным охлаждением



Многообразие схем вентиляции мировых производителей



General Electric

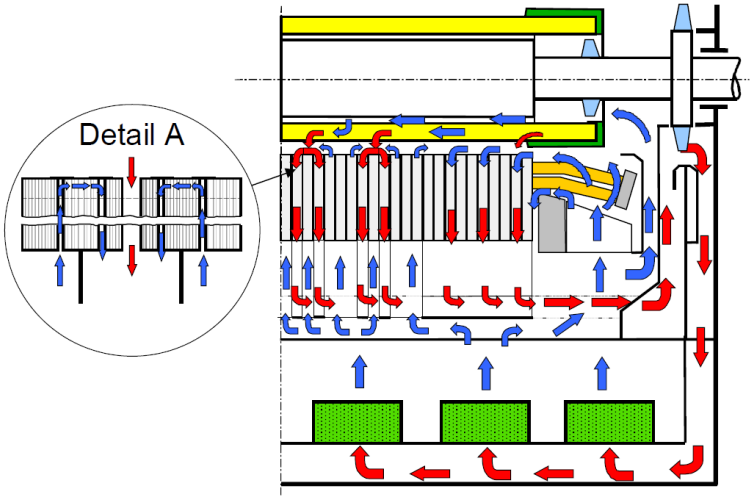
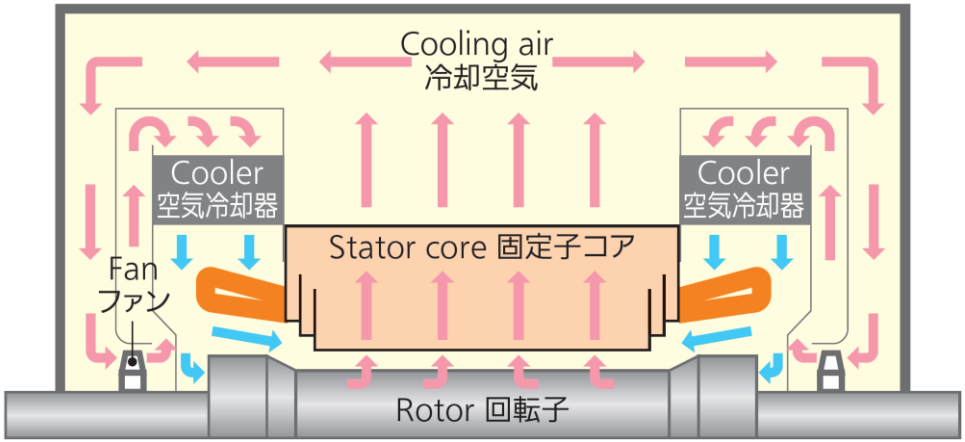
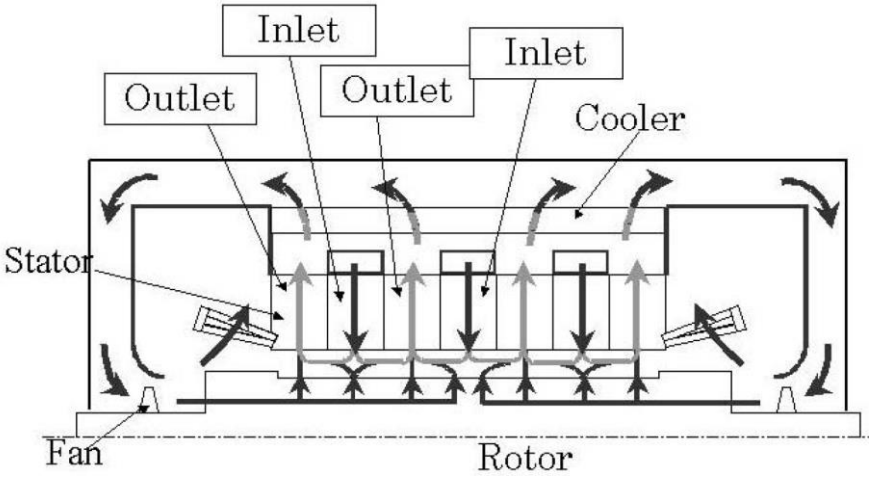


ABB ALSTOM POWER



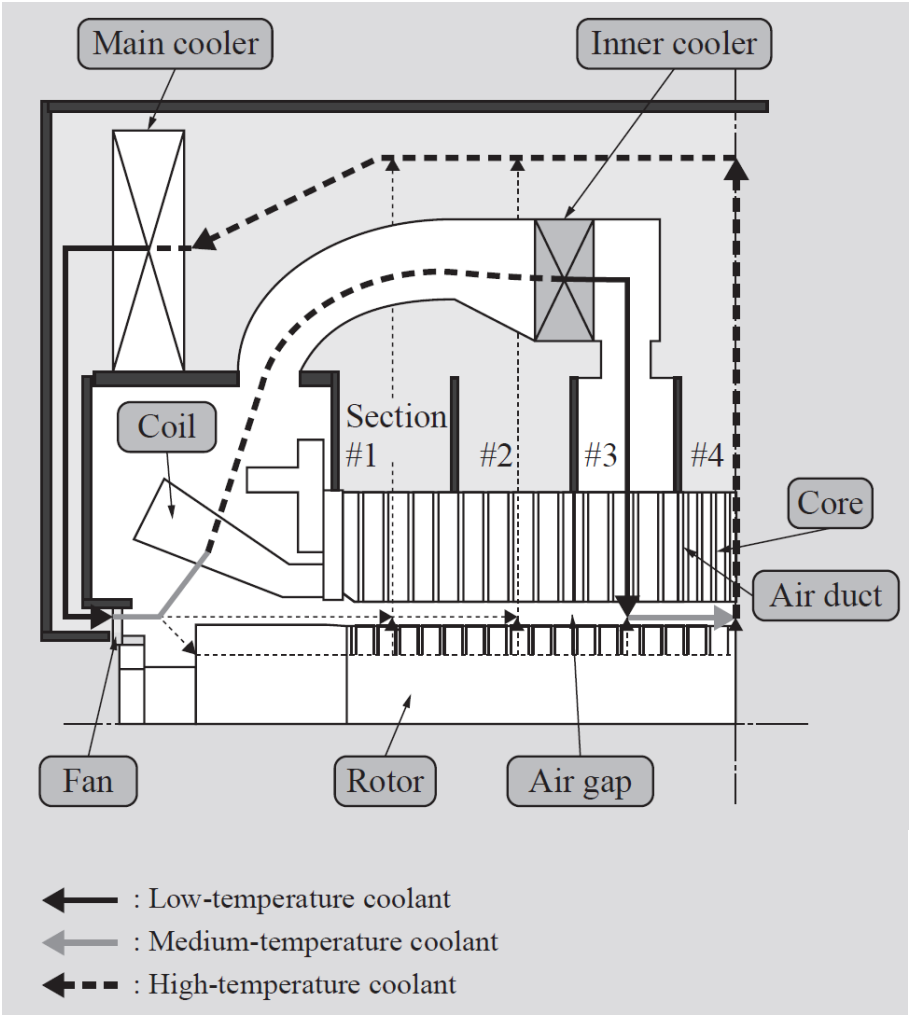
Mitsubishi Electric



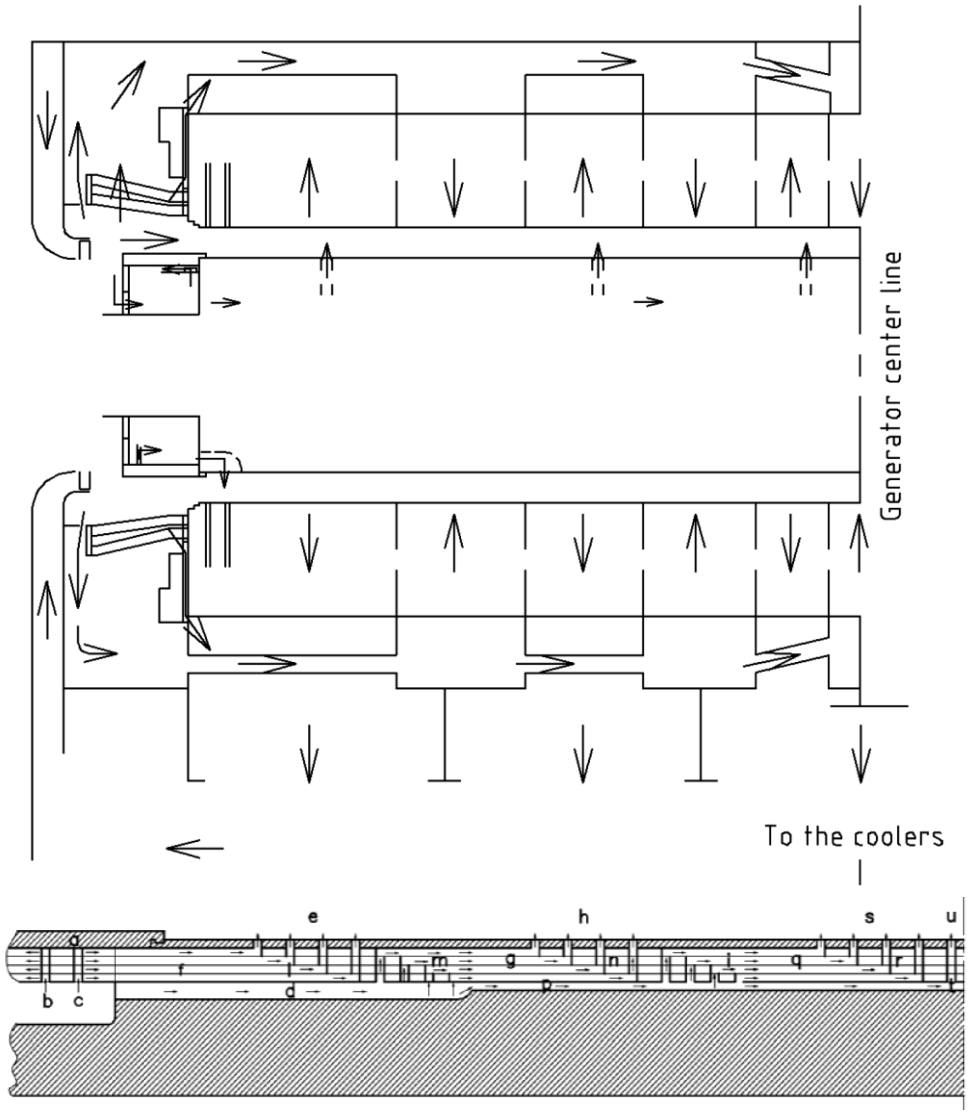
Toshiba

Развитие систем воздушного охлаждения турбогенераторов: ограничивающие факторы, преимущества и перспективы

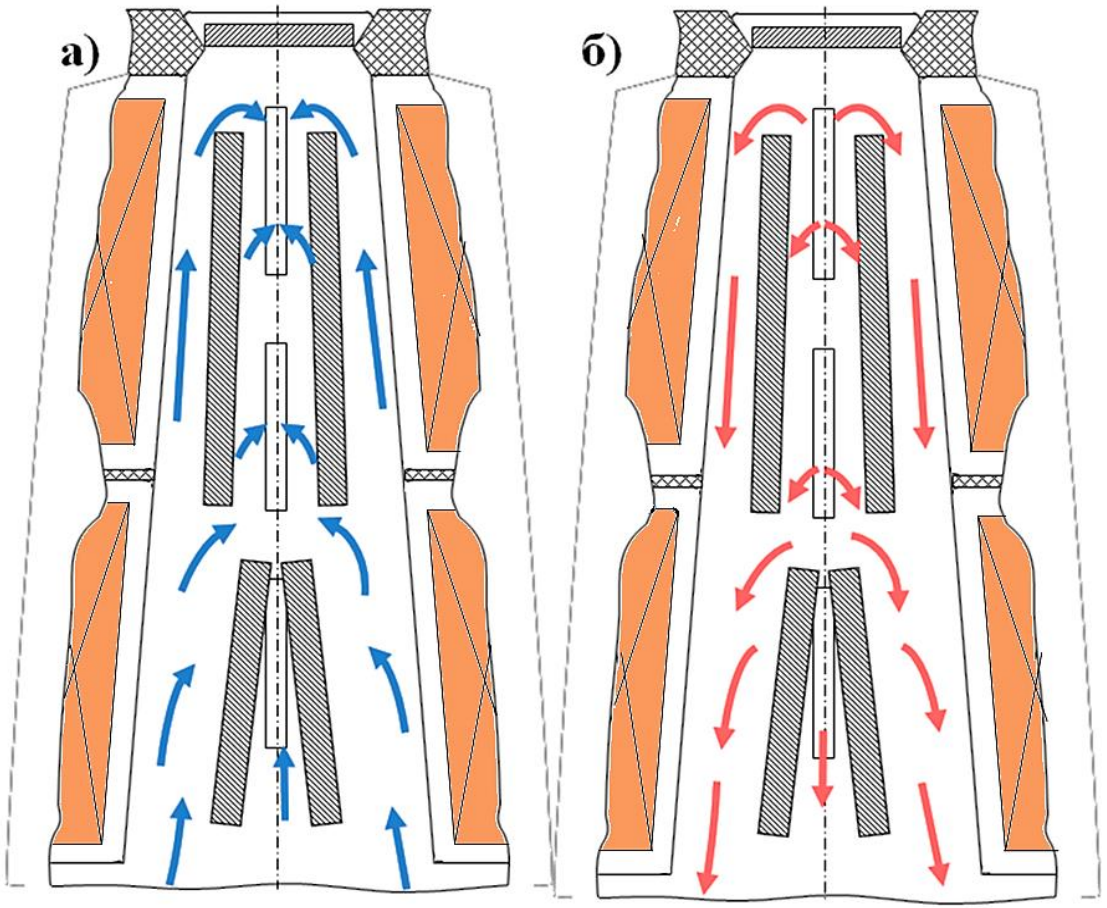
Завалишинские чтения



Hitachi – схема с дополнительным охладителем



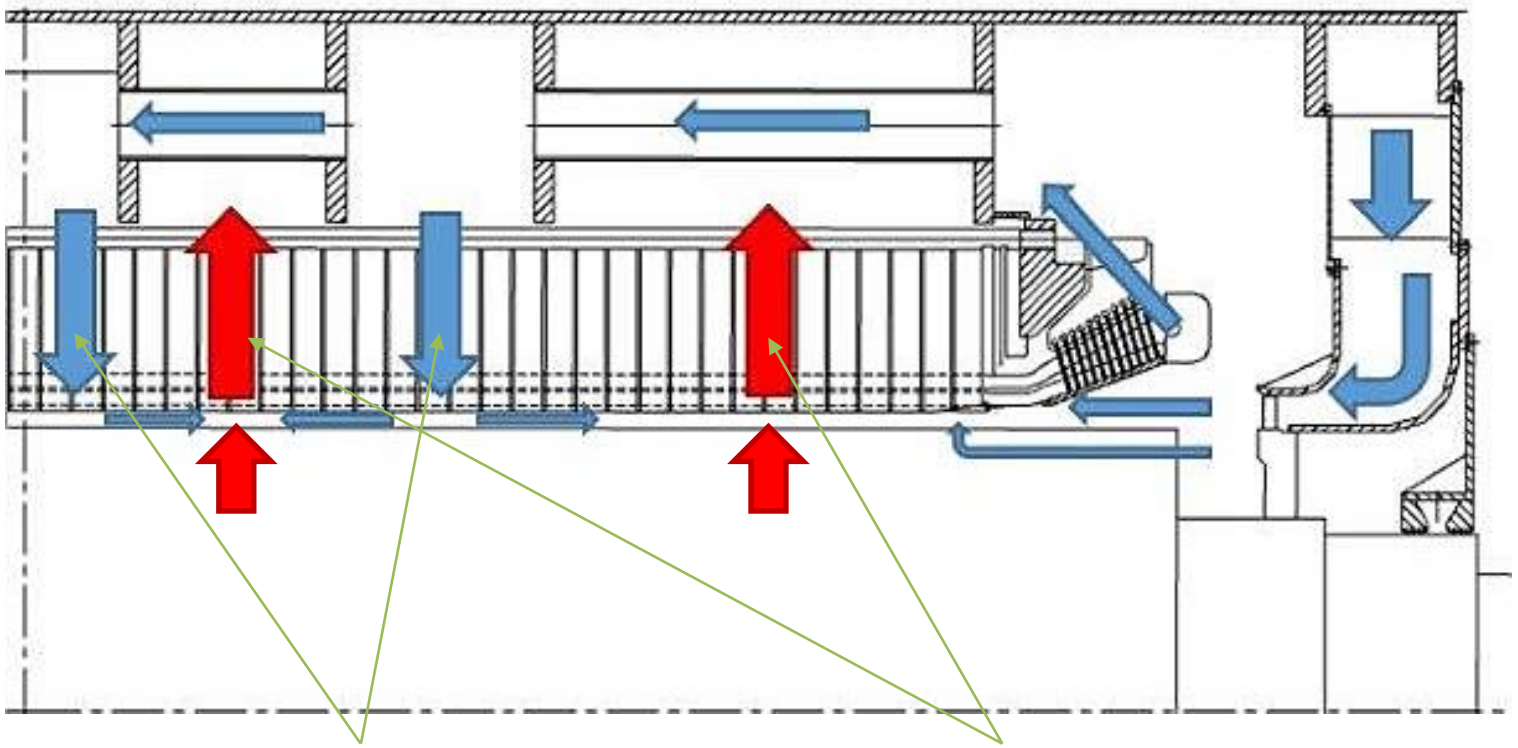
Ansaldo – многоструйная нагнетательная схема



АО «Силовые машины» – радиально-аксиальная схема с щелевыми каналами в зубцах статора и разделенными воздушными потоками статора и ротора (серия ТЗФ): набегающий (а) и сбегающий (б) радиальные каналы

К рассмотрению принимаются нагнетательная многоструйная схема вентиляции (**НМС**, серия ТФ) и вытяжная схема вентиляции с независимыми контурами охлаждения статора и ротора (**ВНКО**, серия Т3Ф)

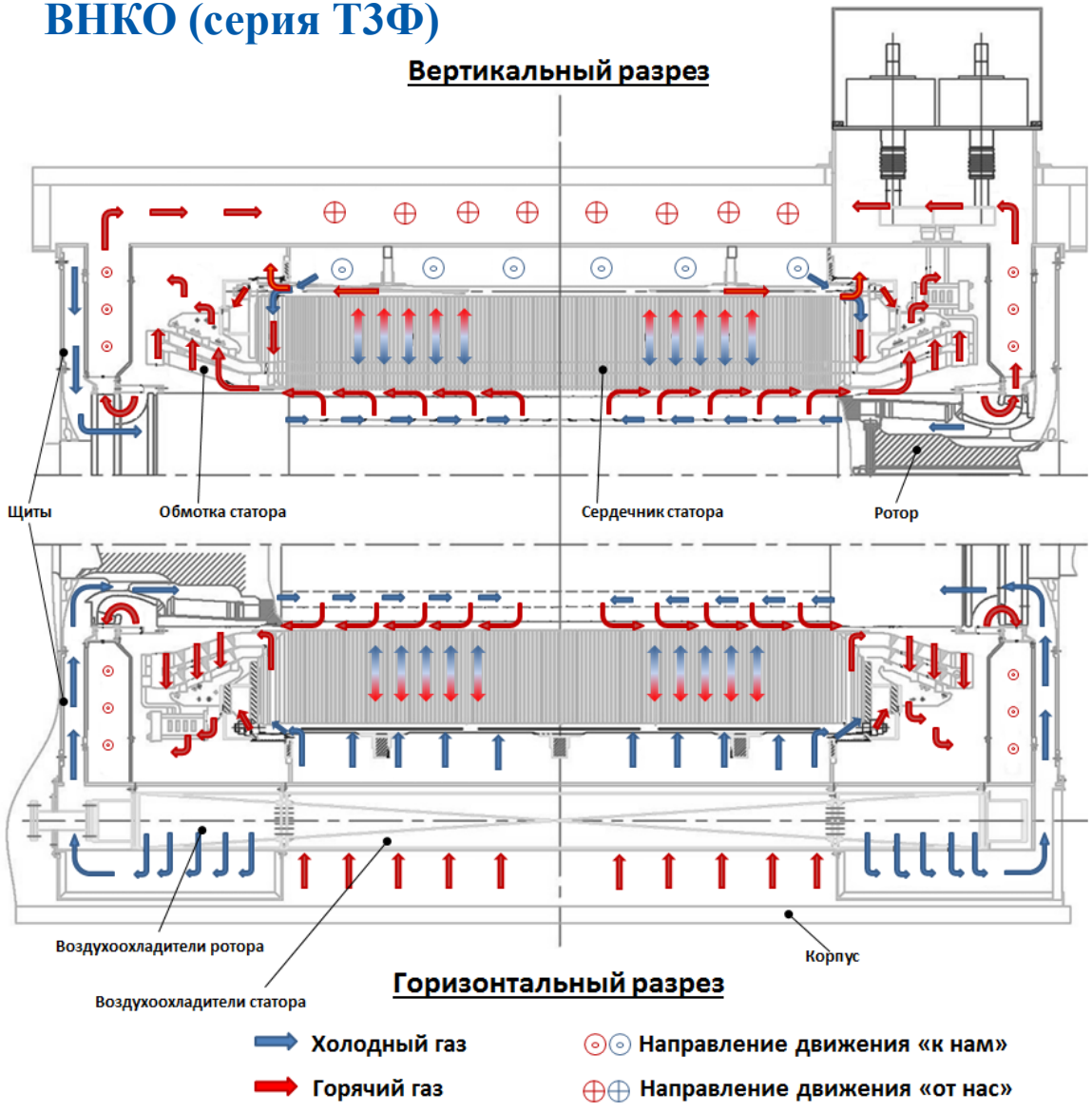
НМС (серия ТФ)



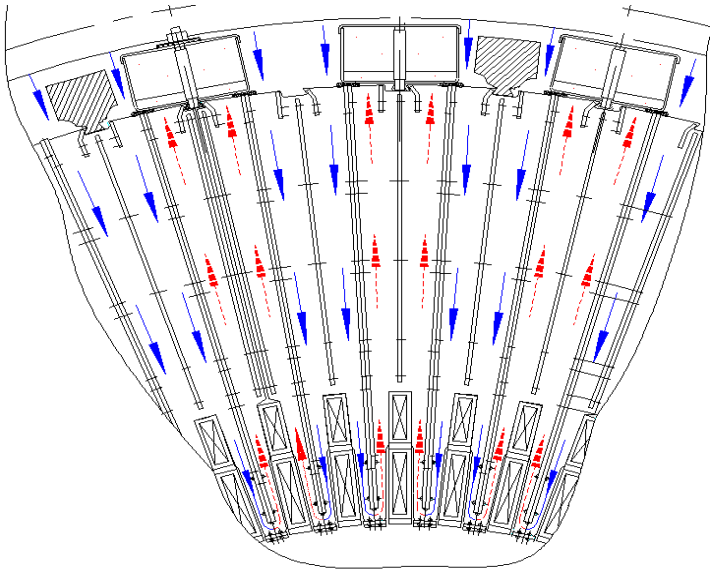
«Холодные» зоны статора

«Горячие» зоны статора

ВНКО (серия Т3Ф)



Система U-образных вентиляционных каналов сердечника статора



Развитие систем воздушного охлаждения турбогенераторов: ограничивающие факторы, преимущества и перспективы

Завалишинские чтения

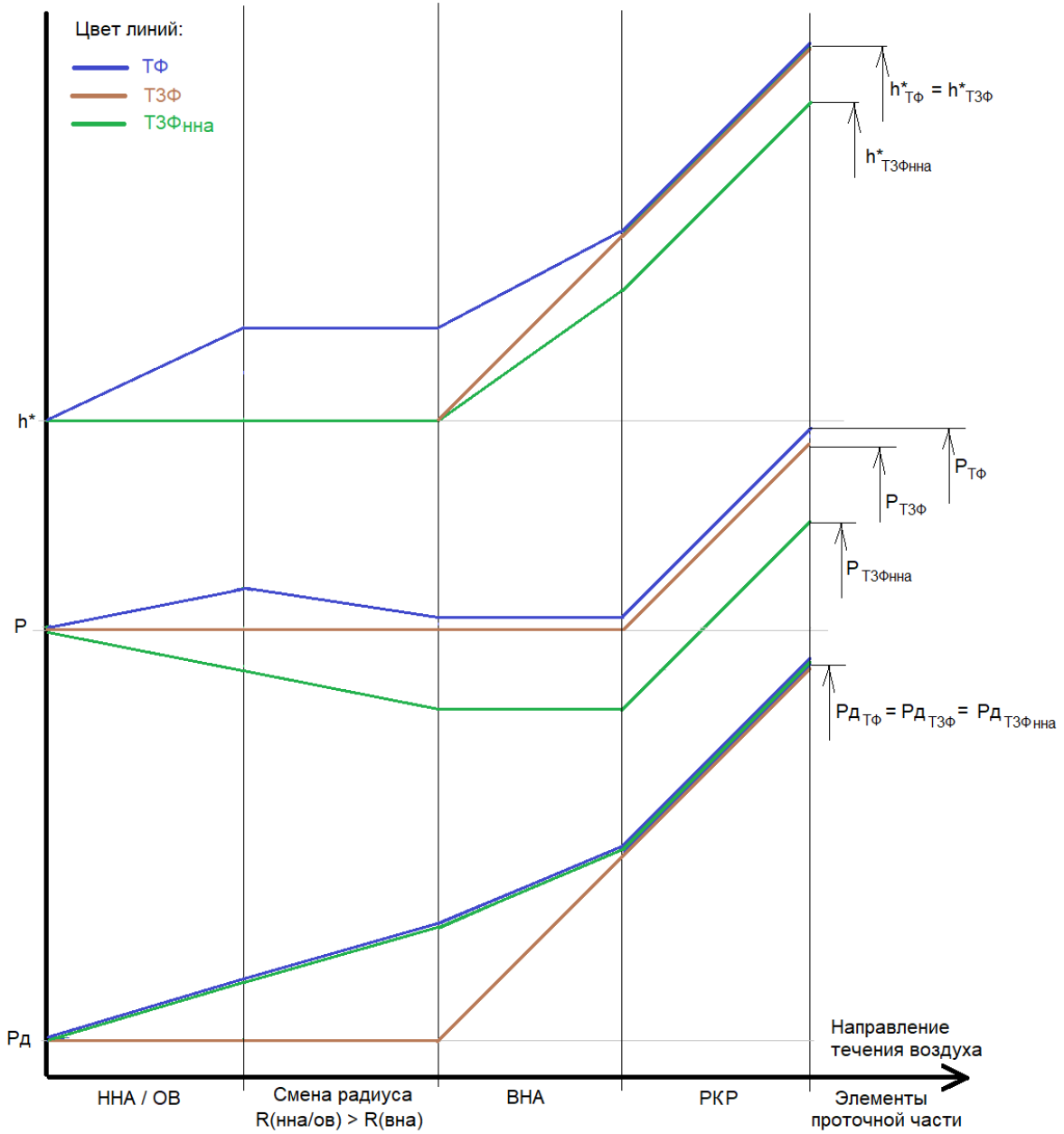
Наименование	НМС	ВНКО
Конструктивные особенности		
Тип схемы	Нагнетательная – охладитель установлен перед вентилятором	Вытяжная – охладитель установлен после вентилятора
Вентиляционный узел статора и ротора	Осевой вентилятор, один воздушный канал между внутренним и наружным щитами для подачи воздуха в статор и ротор	Центробежный вентилятор, два воздушных канала - для выпуска воздуха из статора и подачи воздуха в ротор
Охлаждение сердечника статора	Радиальные каналы, течение из зазора к периферии (горячая зона) и в обратном направлении (холодная зона)	U-образные каналы с входом и выходом на периферии
Охлаждение обмотки ротора	Система радиальных каналов с аксиальными участками	Система радиальных каналов
Влияние на тепловое состояние		
Величина подогрева воздуха при входе в зону зубцов сердечника (горячая зона – наиболее нагруженная по нагреву)	Подогрев воздуха от вентиляционных потерь в вентиляторе и роторе, электрических потерь в обмотке и на поверхности ротора	Подогрев воздуха потерями в стали ярма сердечника
Подогрев воздуха на входе в каналы обмотки ротора	Подогрев от вентиляционных потерь в вентиляторе и роторе, затраченных на закрутку воздуха от нуля до окружной скорости ротора	Подогрев от вентиляционных потерь в роторе, затраченных на закрутку воздуха от начального значения до окружной скорости ротора

Основные факторы, определяющие вентиляционные потери:

- Снижение вентиляционных потерь возможно исключительно за счёт уменьшения расхода охлаждающего воздуха и удельных затрат мощности на его циркуляцию.
- Единственным эффективным способом снижения вентиляционных потерь является снижение аэродинамического сопротивления элементов контура вентиляции и минимизация потерь в них.
- Для активных частей, охлаждение которых осуществляется по нагнетательной схеме, появляется дополнительная составляющая подогрева охлаждающего воздуха, связанная с вентиляционными потерями в осевом вентиляторе, увеличивающаяся с ростом расхода воздуха и давления в контуре циркуляции.

Развитие систем воздушного охлаждения турбогенераторов: ограничивающие факторы, преимущества и перспективы

Завалишинские чтения

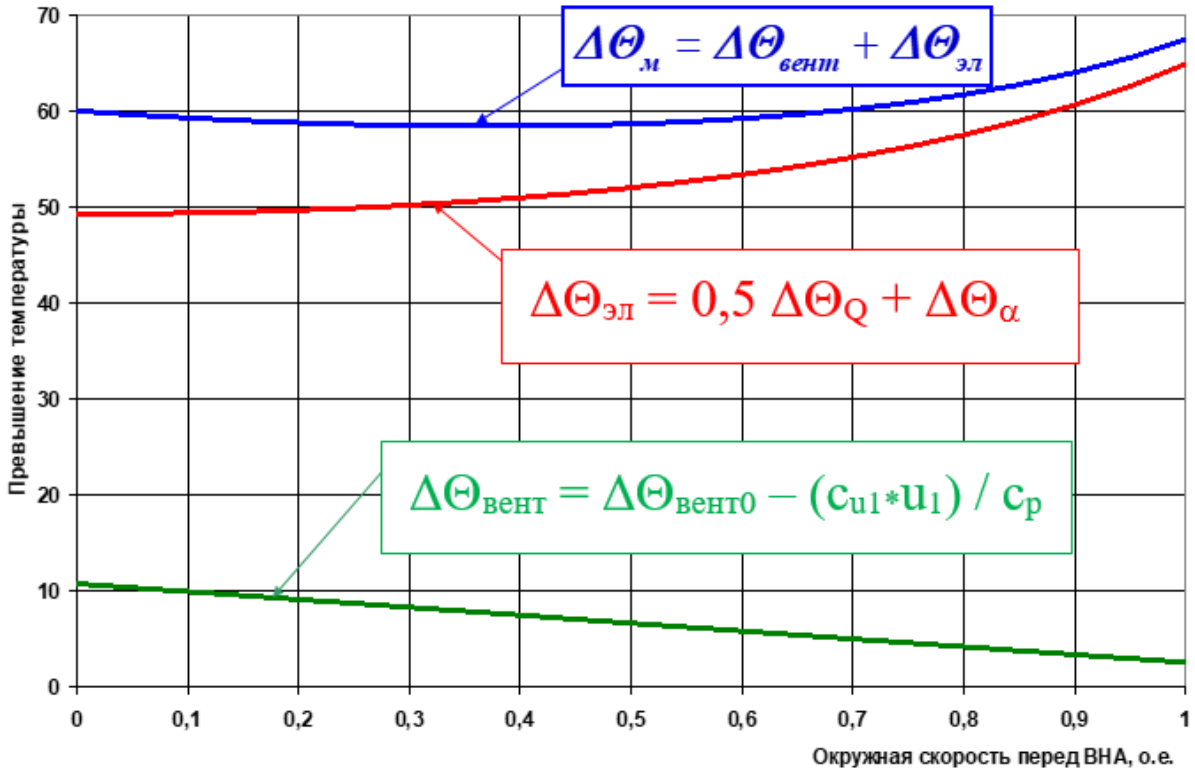


Контур охлаждения ротора и особенности компоновок схем НМС и ВНКО

ННА – неподвижный направляющий аппарат
ОВ – осевой вентилятор
ВНА – вращающийся направляющий аппарат
РКР – радиальные каналы ротора

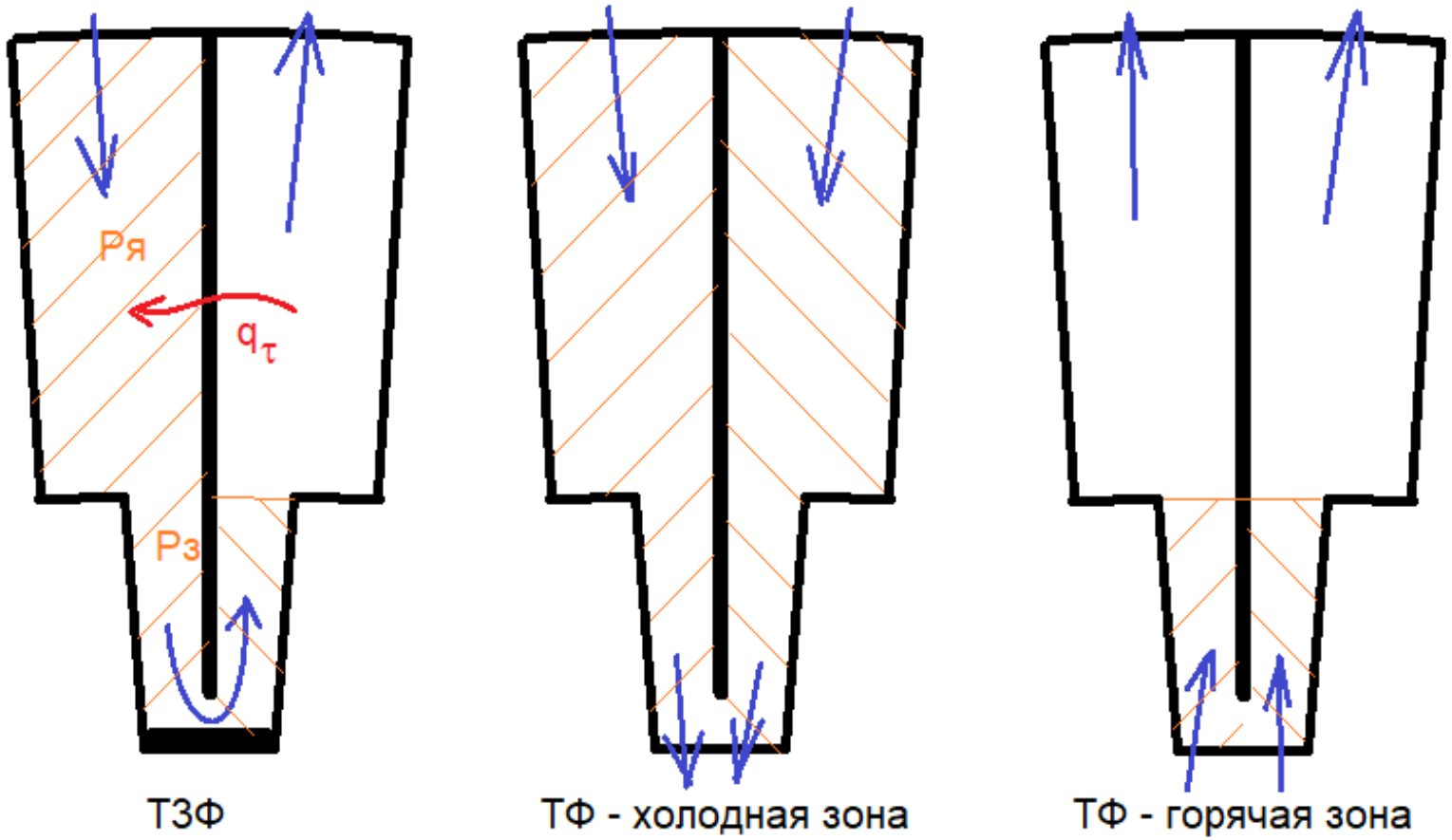
h* - подводимая механическая работа
p – статическое давление воздуха
$p_д$ – динамическое давление воздуха

Превышение температуры обмотки ротора в зависимости от окружной скорости перед вращающимся направляющим аппаратом



$\Delta\Theta_м$ – среднее превышение температуры обмотки ротора над воздухом, выходящим из охладителей;
$\Delta\Theta_{вент}$ – подогрев воздуха, вызванный вентиляционными потерями;
$\Delta\Theta_{эл}$ - среднее превышение температуры обмотки ротора над воздухом в каналах, вызванное электрическими потерями;
$\Delta\Theta_Q$ – подогрев, воздуха, вызванный тепловыделениями в обмотке;
$\Delta\Theta_\alpha$ – конвективный перепад на поверхности каналов обмотки ротора;
$\Delta\Theta_{вент0}$ - начальный вентиляционный подогрев воздуха в зоне радиальных каналов ротора над температурой воздуха на выходе из охладителя при отсутствии НА;
$(c_{u1} \cdot u_1)/c_p$ – снижение вентиляционного подогрева во ВНА за счёт наличия начальной закрутки перед ВНА.

Расчётные схемы охлаждения зубцовой зоны статора



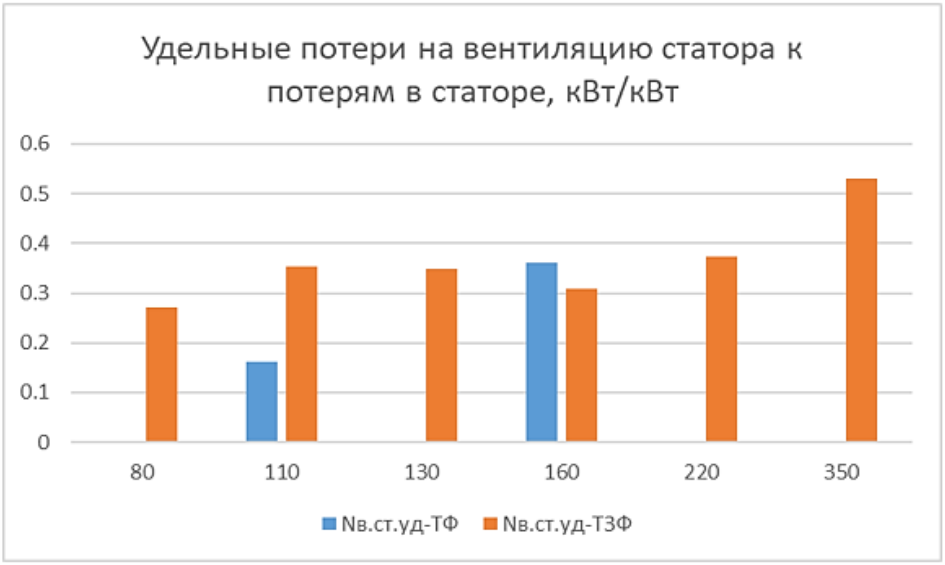
$P_я$ – потери в ярме

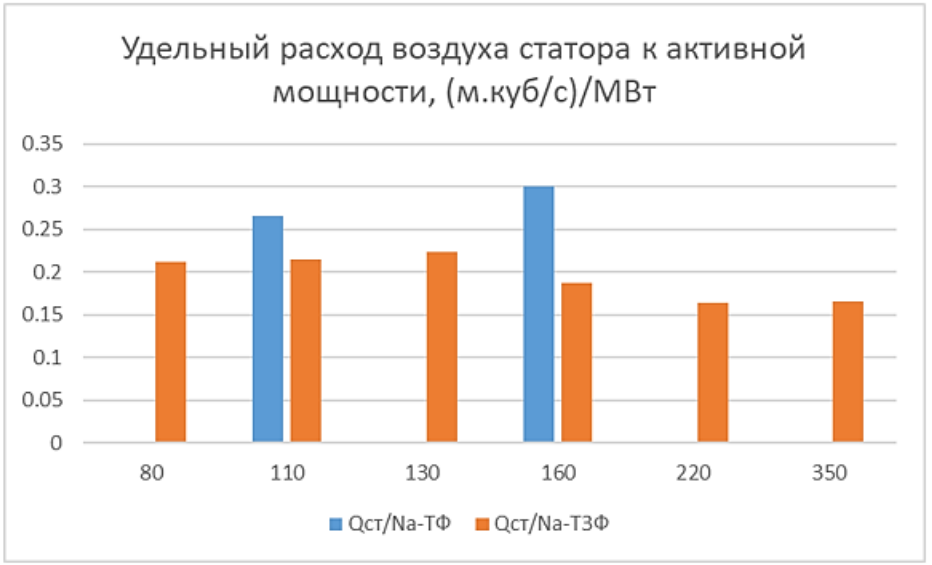
$P_з$ – потери в зубце

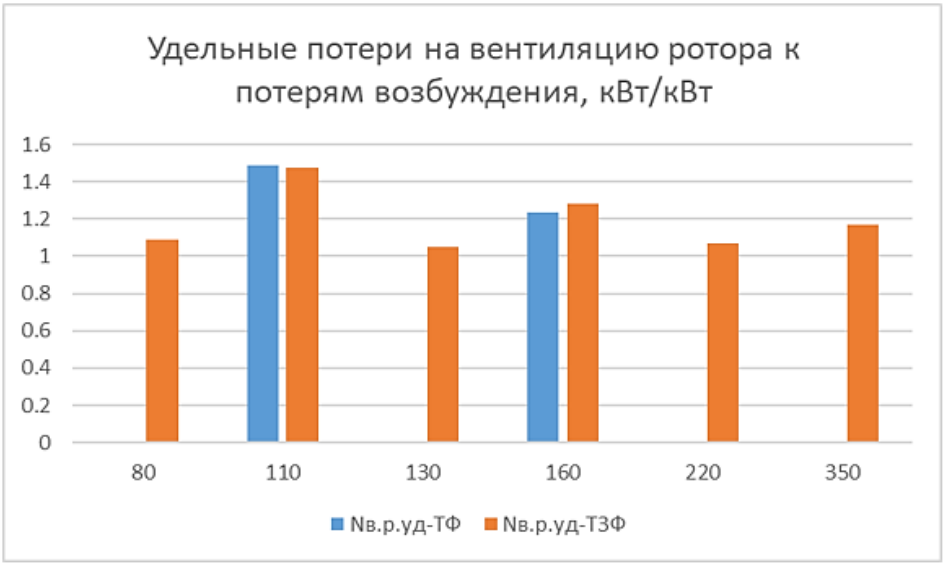
$q_τ$ - уравнительный тангенциальный поток

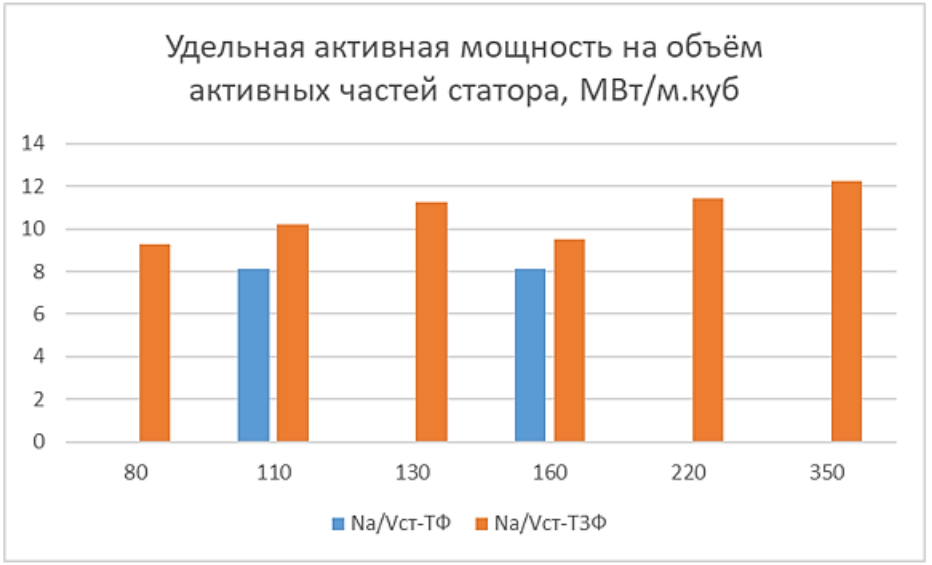
Развитие систем воздушного охлаждения турбогенераторов: ограничивающие факторы, преимущества и перспективы

Завалишинские чтения







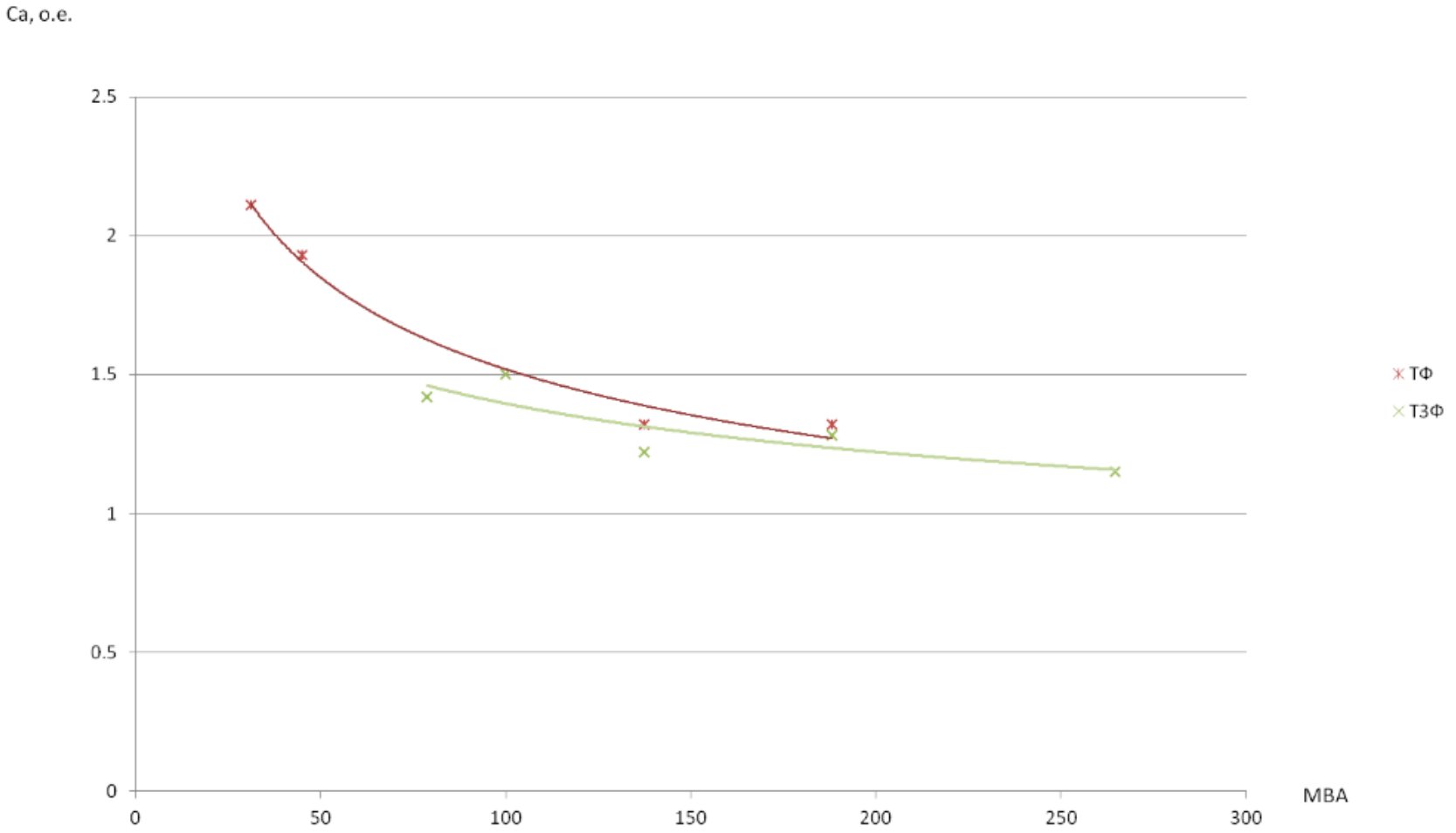


Сравнительный анализ параметров мощностного ряда ТГ 80..350 МВт

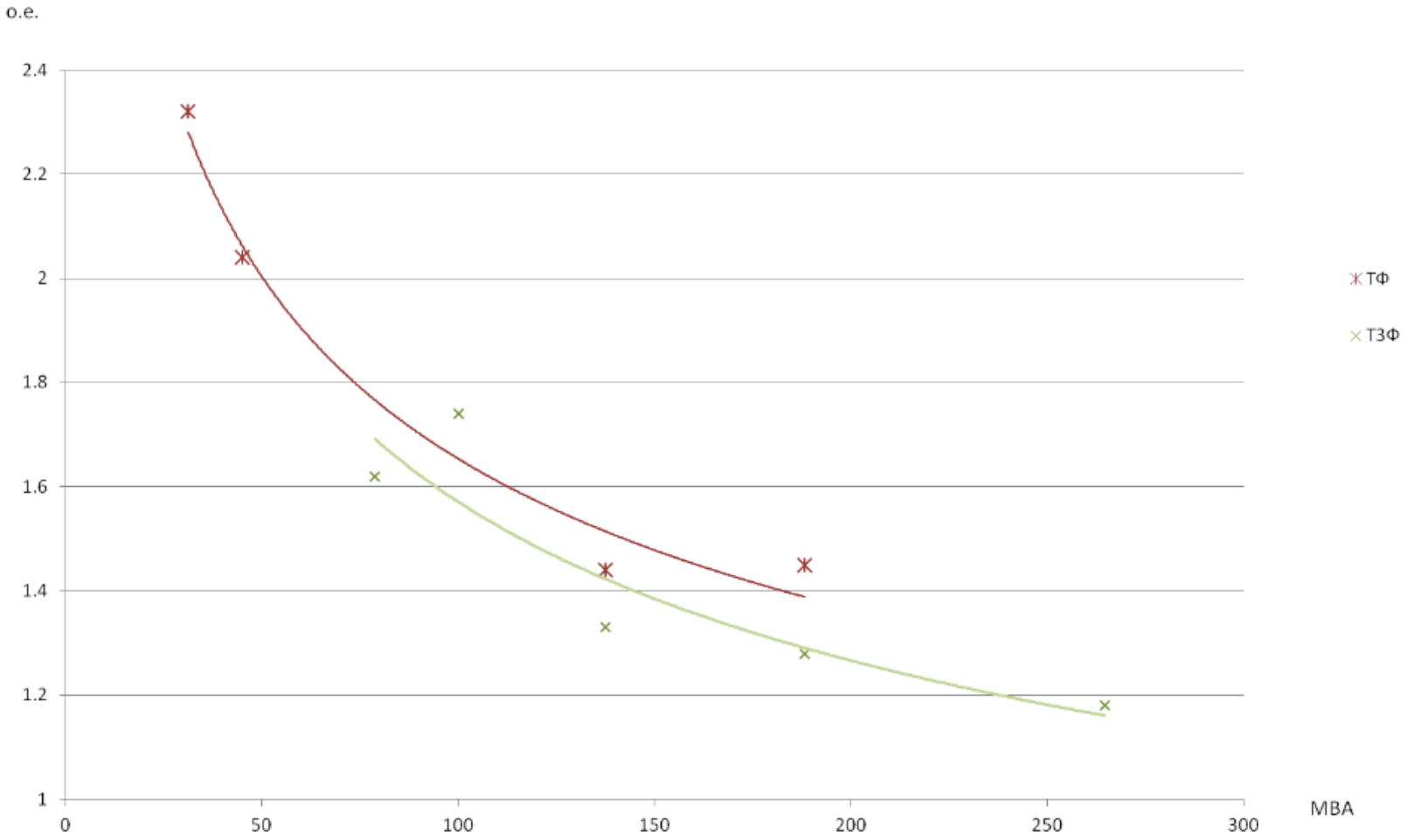
Компоненты превышения температуры зубца над температурой охлаждающего воздуха в схемах НМС и ВНКО

Наименование	ВНКО (ТЗФ)	НМС (ТФ) - холодная	НМС (ТФ) – горячая
Начальный подогрев			
В вентиляторе	Отсутствует	$\Delta\Theta_{вент} = h^* / c_p = \Delta p^* / (\rho * c_p * \eta) \sim V^2$	$\Delta\Theta_{вент} = h^* / c_p = \Delta p^* / (\rho * c_p * \eta) \sim V^2$ через зазор
Начальный подогрев электропотерями	Отсутствует	$\Delta\Theta_{0эл} \sim 1/V$	$\Delta\Theta_{0эл} \sim 1/V$ через зазор
В зазоре	Отсутствует	Отсутствует	$\Delta\Theta_з = \frac{\Delta\Theta_{хз} * V_{хз} + \Delta\Theta_р * V_р}{V_{хз} + V_р}$
Подогрев электропотерями в сердечнике			
Суммарный подогрев	$\Delta\Theta_{Т3Фэл} = (P_я + P_з + q_\tau) / (\rho_* V_* c_р)$	$\Delta\Theta_{ТФхз.эл} = (P_я + 0{,}5 * P_з) / (\rho_* V_{хз*} c_р)$	$\Delta\Theta_{ТФгз.эл} = 0{,}5 * P_з / (\rho_* V_{гз*} c_р)$
Паразитный переток	q_τ	Отсутствует	Отсутствует
Составляющие теплопередачи			
Конвективный перепад температуры	$\Delta\Theta_{\alpha(Т3Ф)}$	$\Delta\Theta_\alpha > \Delta\Theta_{\alpha(Т3Ф)}$ – скорость ниже	$\Delta\Theta_\alpha < \Delta\Theta_{\alpha(Т3Ф)}$ – скорость выше
Перепад температуры поперёк пакета	$\Delta\Theta_\lambda$ – одинаков для всех вариантов		

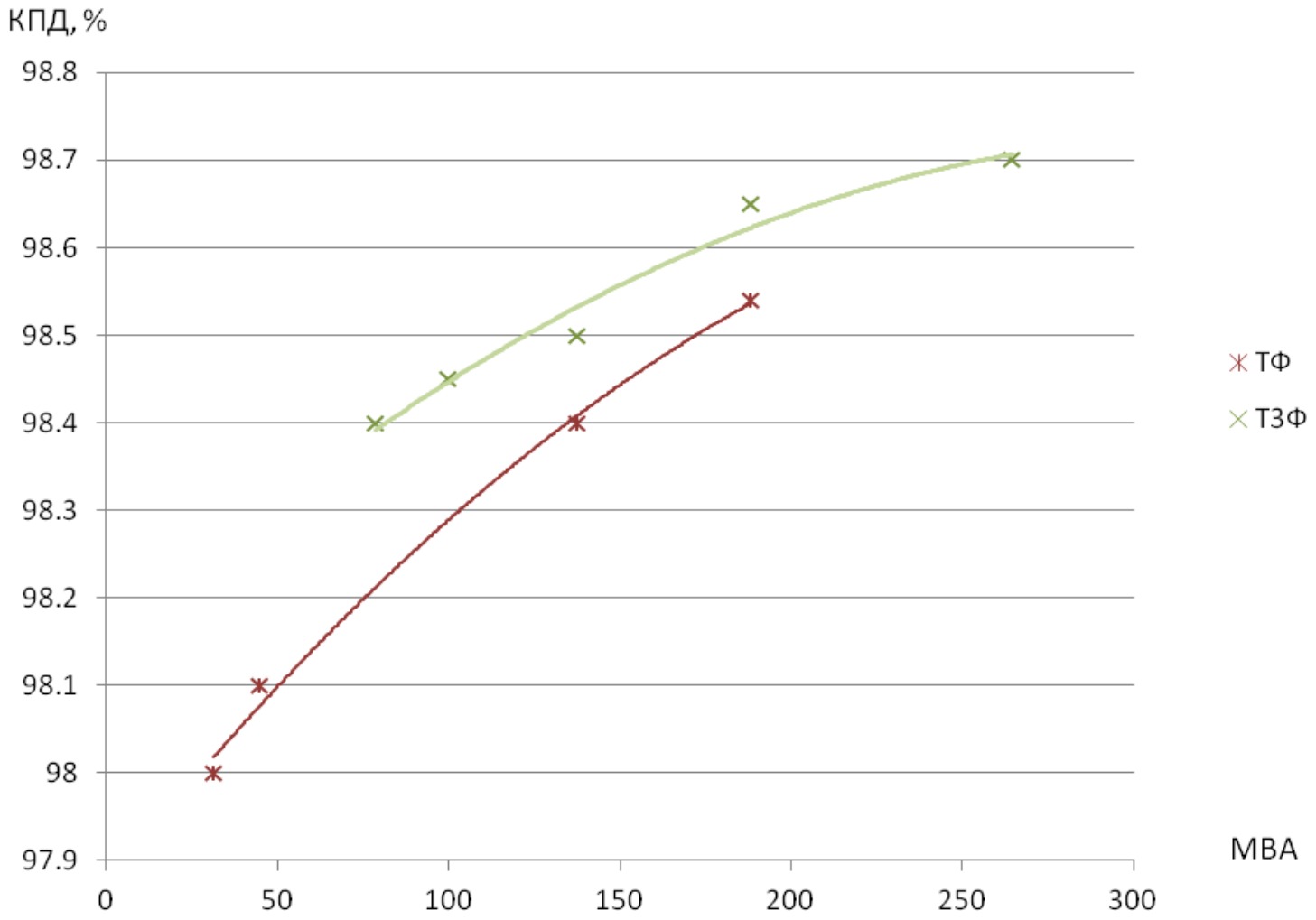
Машинная постоянная Арнольда для турбогенераторов с воздушным охлаждением серий ТФ и Т3Ф



Удельный вес 1 МВА турбогенераторов с воздушным охлаждением серий ТФ и ТЗФ



Коэффициент полезного действия турбогенераторов с воздушным охлаждением серий ТФ и Т3Ф



Выводы

1. Схемой, обеспечивающей снижение вентиляционных потерь, является вытяжная схема вентиляции с независимыми контурами охлаждения статора и ротора с неподвижным направляющим аппаратом.

2. Снижение затрат мощности на циркуляцию воздуха в каналах ротора на 20-30% достигается за счёт применения неподвижного направляющего аппарата, установленного в контуре подачи воздуха в ротор, обеспечивающего необходимую закрутку потока воздуха без повышения температуры обмотки ротора.

3. Эффективность охлаждения обмотки статора определяется интенсивностью охлаждения зубцовой зоны сердечника статора.

4. В нагнетательной многоструйной схеме вентиляции воздух, поступающий из воздушного зазора, не способен обеспечить эффективное охлаждение обмотки и стали сердечника в горячих отсеках. Снижение температуры зубцовой зоны достигается за счёт повышения расхода воздуха и дополнительного охлаждения воздуха, поступающего в холодные зоны, что приводит к существенному усложнению конструкции генератора.

5. Сравнение турбогенераторов с указанными схемами вентиляции по технико-экономическим критериям (машинной постоянной Арнольда, удельному весу, коэффициенту полезного действия) позволяет судить о неоспоримых преимуществах вытяжной схемы вентиляции с независимыми контурами охлаждения статора и ротора и предпочтительном использовании такой схемы при проектировании современных турбогенераторов с воздушным охлаждением большой мощности.

Спасибо за внимание!

Сравнение технико-экономических характеристик вентильно-индукторных двигателей с асинхронными и синхронными двигателями

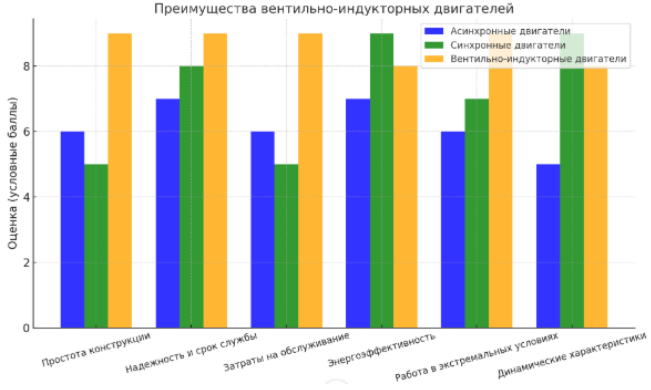
Завалишинские чтения

Авторы: **Н. В. Александров**
Студент кафедры электромеханики и робототехники
А. А. Мартынов - кандидат технических наук, доцент
Организация: СПбГУАП

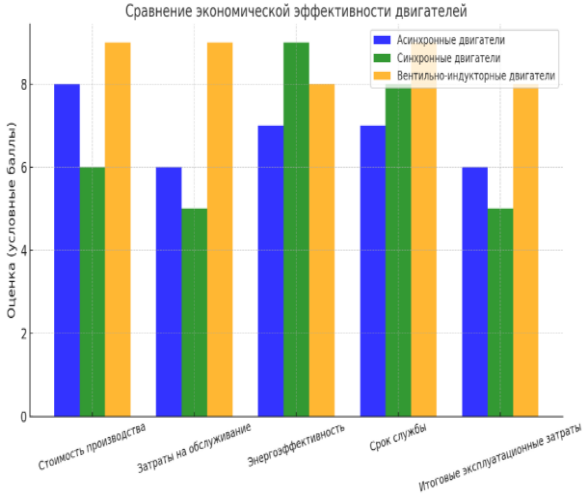
Цель работы — провести сравнительный анализ технико-экономических характеристик вентильно-индукторных двигателей, асинхронных и синхронных двигателей.

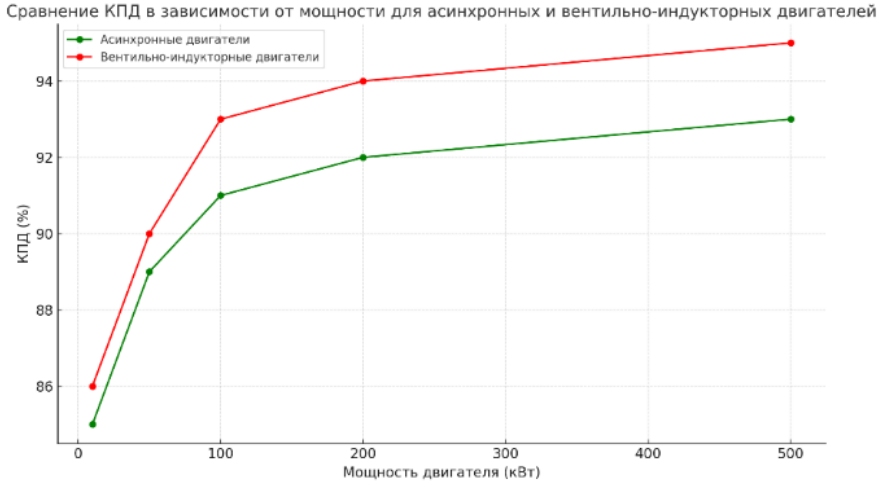
ВИД имеют КПД на уровне 85–95% и демонстрируют высокую эффективность при частичной нагрузке. Конструкция ВИД проста и надёжна: отсутствуют обмотки и постоянные магниты, что снижает износ и себестоимость. Быстрый отклик на изменения нагрузки и высокий крутящий момент делают ВИД подходящими для систем с высокими требованиями к управлению.

Недостатком ВИД является необходимость в сложной системе управления, однако современные технологии компенсируют это.



Асинхронные двигатели дешевле в производстве, но уступают по эксплуатационным характеристикам.
Синхронные двигатели обеспечивают высокую точность, но требуют редкоземельных материалов и сложного управления.





ВИД перспективны для применения в электротранспорте, авиации, судостроении и других сферах, где важны надёжность и энергоэффективность.

Анализ приводов, применяемых в системах с точным позиционированием и выбор приводов для координатно-распределительного устройства в роботизированной сборочной линии

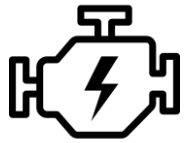
Работу выполнил: Б.Р. Бакланов, студент кафедры электромеханики и робототехники
Научный руководитель: Ф.И.О., В.М. Медунецкий, д-р техн. наук профессор

Современные высокотехнологичные отрасли нуждаются в высокой точности для обеспечения прогресса в этих областях, а также повышения качества уже существующих решений для чего требует решения задача точного позиционирования тех или иных рабочих органов или деталей механизмов, как для создания оборудования, так и в процессе функционирования этого оборудования и эта задача не может быть решена без использования высокоточных приводов.

Привод должен удовлетворять следующим требованиям:
Точность позиционирования
Динамические характеристики
Надежность и долговечность
Энергоэффективность
Компактность и вес
Точность и стабильность при изменении нагрузки
Температурная стабильность
Безопасность

Привод

Гидропривод и пневмопривод используются довольно редко, поскольку достаточно сложно обеспечить высокую точность и поэтому в большей части систем используются различные виды электроприводов



Высокоточный электропривод

Сервоприводы

Достоинства:
Высокая скорость и мощность
Точность с обратной связью
Отсутствие потери шагов

Недостатки:
Высокая стоимость.
Сложность управления
Необходимость обратной связи.
Перегрев при перегрузке

Линейные приводы

Достоинства:
Линейное движение
+
Компактность

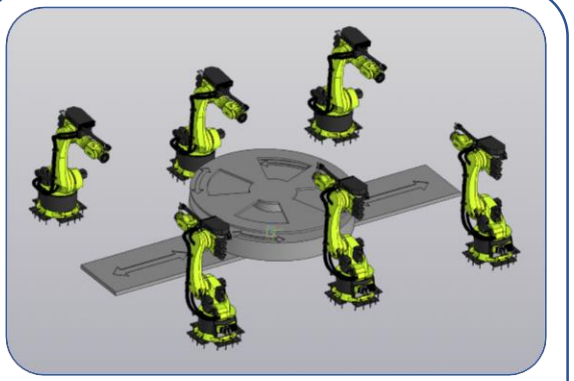
Недостатки:
Скорость и мощность
Стоимость

Шаговые двигатели

Достоинства:
Высокая точность позиционирования
Простота управления
Низкая стоимость
Удержание позиции
Отсутствие необходимости в обратной связи

Недостатки:
Ограниченная скорость
Резонанс и вибрации
Потеря шагов
Низкий КПД

Шаговые двигатели подходят для задач, где требуется точное позиционирование на низких и средних скоростях, а также при ограниченном бюджете, но имеют проблемы с возможным пропуском шагов под нагрузкой.
Сервоприводы имеют лучшие характеристики по мощности, быстродействию и точности, но наиболее дорогостоящи.
Линейные приводы идеальны для задач, где необходимо прямолинейное движение, и где важна компактность и простота конструкции, а также не предполагаются большие нагрузки.



Как видно из схемы КРУ, представляет из себя поворотный стол двухуровневой конструкции, который кроме поворота каждого из уровней может линейно перемещаться по направляющим.

Таким образом требуется 3 привода для обеспечения работы КРУ – два поворотных и один линейный

Таким образом для координатно-распределительного устройства в роботизированной сборочной линии были выбраны сервоприводы на основе асинхронных двигателей, с обратной связью по энкодерам. В качестве устройств передачи движения были выбраны: для линейного перемещения стола – планетарный редуктор и ШВП, для вращательного движения уровней стола – волновые или циклоидные редукторы.

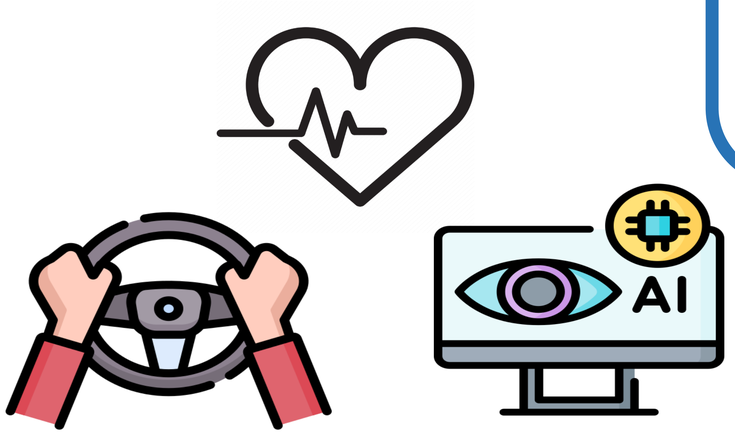
Разработка интеллектуальной системы предупреждения засыпания водителя транспортного средства

Завалишинские чтения

Работу выполнил: Баландюк Семен Андреевич, студент ГУАП, гр. 3422М
Научный руководитель: Сериков Сергей Анатольевич, профессор, д-р техн. наук, доцент

Существующие решения:

- Биометрия. Измерение пульса и ЭКГ. Неудобство эксплуатации.
- Компьютерное зрение. Анализ признаков засыпания при помощи камеры. Чувствительность к освещению и качеству видео.
- Поведенческий анализ. Оценка стиля вождения. Низкая эффективность.

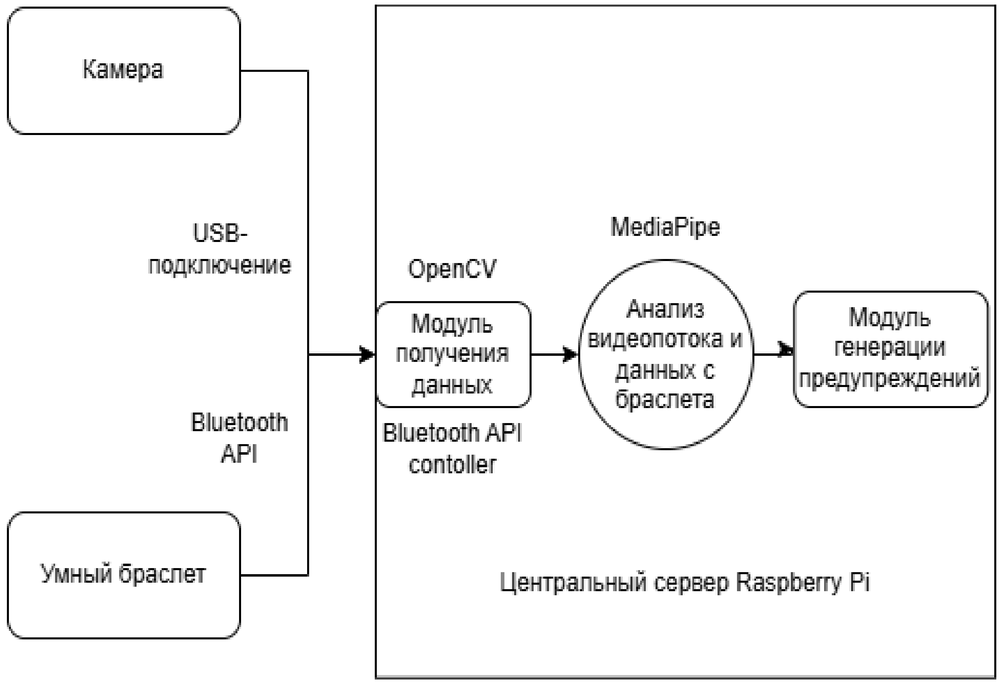


Засыпание за рулём — одна из частых причин ДТП.
Необходимы системы, которые заранее выявляют признаки усталости и реагируют до наступления критического состояния.

Предложенное решение обеспечивает контроль за состоянием водителя и временем за рулём, сочетая доступность, эффективность и потенциал для масштабирования.

Компоненты предложенной системы:

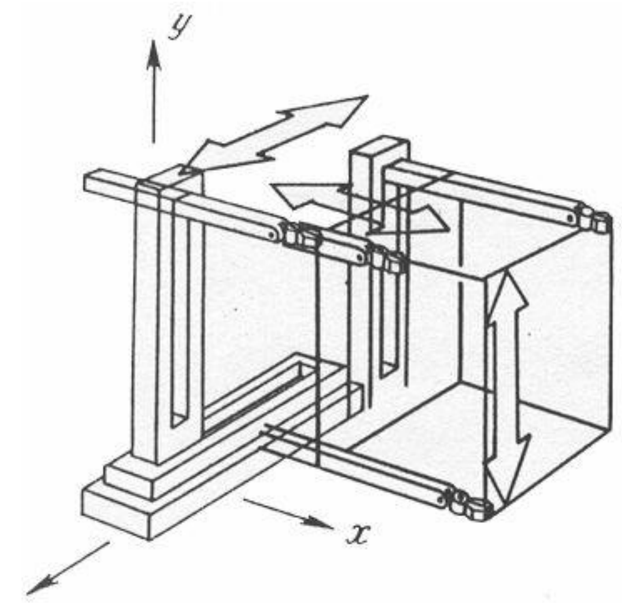
- Камера с ИК-подсветкой.
- Умный браслет.
- Локальный сервер Raspberry Pi
- Удаленный сервер таксопарка

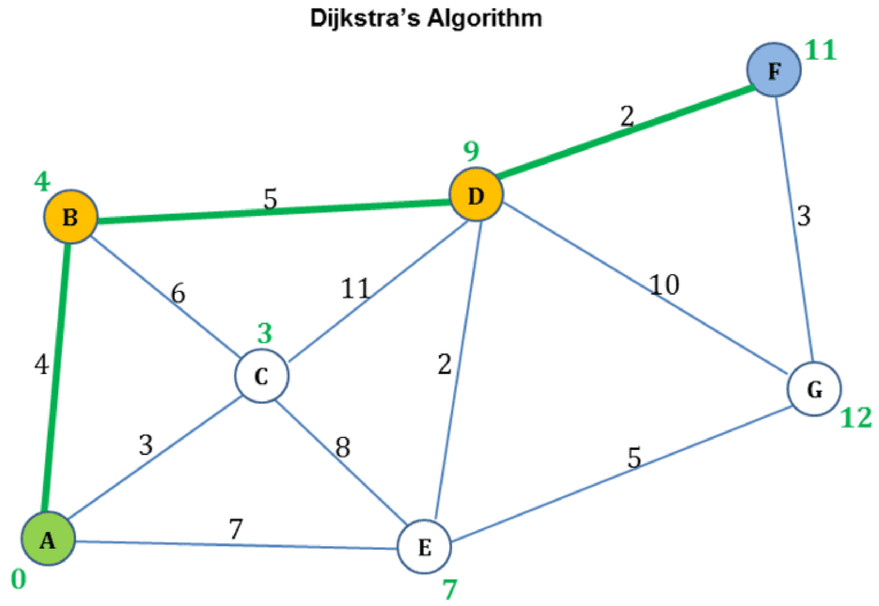


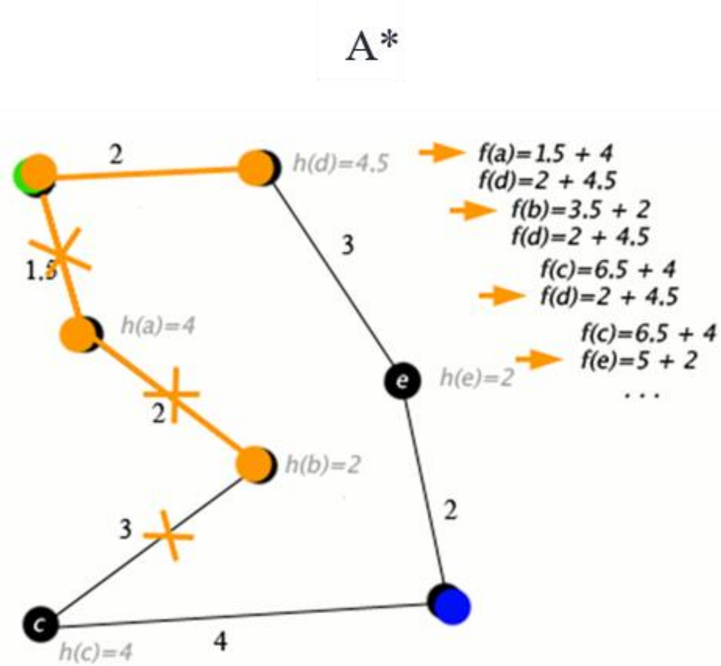
Обзор систем управления роботом с прямоугольной системой координат

Работу выполнил: Биркле Сергей Евгеньевич – магистрант кафедры электромеханики и робототехники
Научный руководитель: Савельев Николай Вячеславович – доцент, кандидат технических наук

Развитие робототехники ускоряется, и многие исследования фокусируются на создании эффективных систем управления для мобильных роботов. Одна из важнейших задач - выбор подходящей системы координат для навигации и управления движением робота. Прямоугольная система координат (декартова система координат) является наиболее распространенной и понятной для реализации в роботизированных системах. Система управления мобильным роботом с прямоугольной системой координат должна решать несколько важных задач: определение текущего положения робота, планирование траектории его движения, а также корректировка движений в реальном времени с учётом возможных ошибок и изменений в окружающей среде. Для этого используются различные алгоритмы, такие как алгоритм A*, RRT, а также методы, основанные на динамическом программировании. Прямоугольная система координат также применяется в автономных мобильных платформах, которые должны перемещаться в условиях с ограниченным пространством или сложными препятствиями. Для таких систем часто используются комбинации различных алгоритмов. Несмотря на широкое использование прямоугольной системы координат в робототехнике, существует ряд проблем, которые требуют дальнейших исследований и разработок. Одной из главных проблем является ошибка позиционирования, которая возникает из-за накопления погрешностей датчиков или недостаточной точности алгоритмов планирования пути.



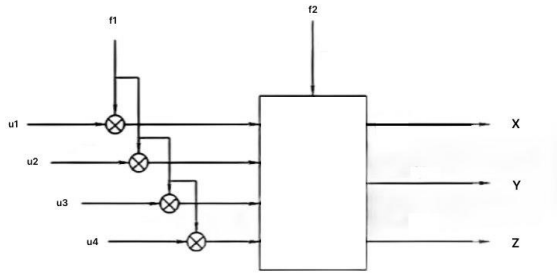




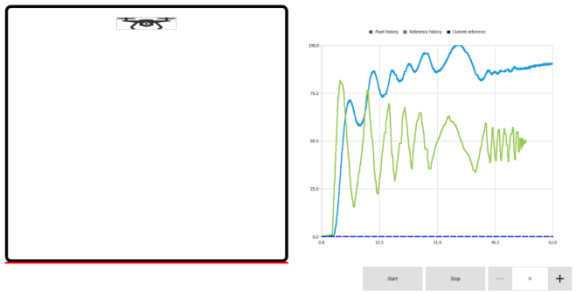
Разработка системы управления, для автономного полета квадрокоптера по заданному маршруту

Завалишинские чтения

К.Г. Вашуров, А.Г. Воронцов
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)



Структурная схема квадрокоптера как объекта управления



Данные, полученные при записи лога в среде Qt

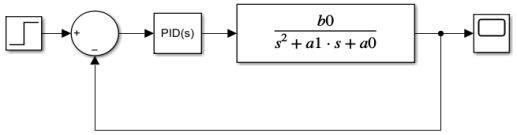
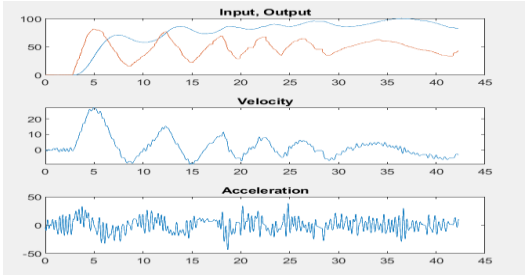


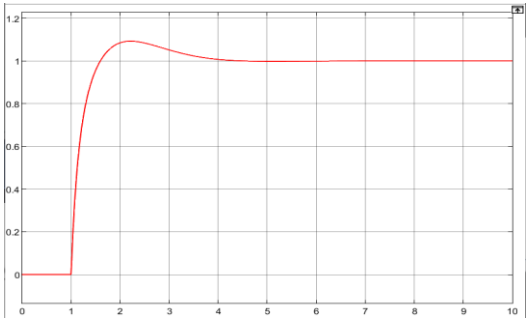
Схема моделирования объекта управления с ПИД-регулятором в Simulink

```
time1 = data(1, 1);
time = data(:,1); %time
output = data(:,2); %output
input = data(:,3); %input
reference = data(:,4); %reference

u1 = input(1:end-10); % входные данные
y_original = output(1:end-10); % выходные данные
zero_time = (time - time1) / 1000;

fs = 50; % частота дискретизации
fpass = 3; % полоса пропускания
h = 1 / fs; % размер шага

y_filtered = lowpass(y_original, fpass, fs); % фильтруем выход
v = diff(y_filtered)/h; % получаем скорость
a = diff(v)/h; % получаем ускорение

time_final = zero_time(1:2001);
y_final = y_filtered(1:2001);
u_final = u1(1:2001);
v_final = v(1:2001);
a_final = a(1:2001);
```

Загрузка и обработка данных в MatLab.



Данные, полученные после чтения и обработки средой MatLab (вход, выход системы, скорость, ускорение квадрокопотера)



Переходная характеристика полученной модели объекта управления.

Осуществлена задача разработки системы управления. Синтезированная система позволяет осуществлять автономный полет квадрокоптера по заданному маршруту. В качестве развития объекта исследования предлагается разработка ПИД-регулятора в формате программного кода на языке C++ и модификация системы для регулирования работы квадрокоптера по данным, поступающим с большего числа каналов управления (крен, тангаж, рыскание и т.д.).

Автономные необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития

Завалишинские чтения

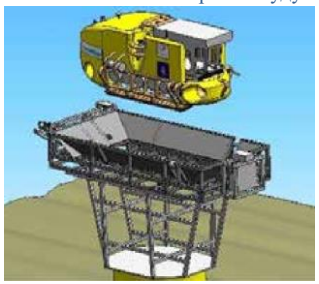
Авторы: **О. С. Волик**
Студент кафедры электромеханики и робототехники
Е. А. Орлова – ассистент – научный руководитель
Организация: СПб ГУАП

В Российской Федерации активно разрабатываются и применяются передовые автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), представляющие собой одно из наиболее перспективных направлений развития техники. Эти высокотехнологичные устройства способны решать разнообразные задачи в морских глубинах.

В данном исследовании приведены основные направления, в которых происходит преобразование и модернизация АНПА:

1. Гибридизация

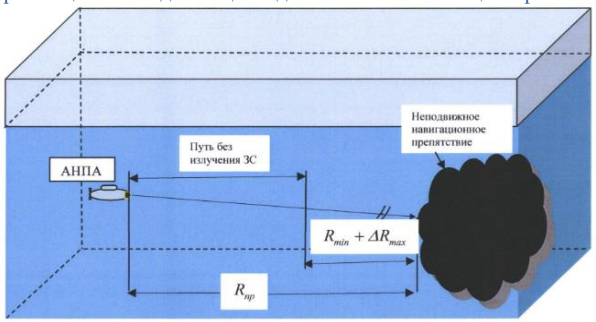
Предлагаются идеи создания многоцелевого гибридного подводного аппарата, сочетающего в себе свойства, присущие как АНПА, так и ТНПА. Разрабатывается подобный робот на базе существующей технологической платформы автономных аппаратов. Необходимые конструктивные изменения и технологические усовершенствования автономных аппаратов будут зависеть от конкретных задач и условий эксплуатации.



Идеи гибридизации такого рода существуют уже достаточно длительный период. Например, подводный роботизированный комплекс (ПРК) *Swimmer*, разработанный компанией *Cybernetix Group*, является наиболее близкой практической реализацией данной идеи. *Swimmer* включает в себя три элемента: телеуправляемый подводный аппарат (ТПА), автономный необитаемый подводный аппарат, выполняющий роль транспорта для ТПА, и донная платформа. В этой системе АНПА служит исключительно для доставки ТПА к донной платформе.

2. Повышение энергоэффективности

Одним из главных направлений, проблемы улучшения показателей в котором никогда не перестанут быть актуальными, является увеличение времени автономной работы. Один из методов экономии электроэнергии для автономного необитаемого подводного аппарата, оснащенного навигационным комплексом и гидроакустической системой освещения обстановки (ГСОО), функционирующей в активном и пассивном режимах, заключается в том, что навигационная система АНПА предоставляет исчислимые координаты, а система управления (СУ) АНПА, используя цифровую карту, регулярно оценивает дистанцию до ближайшего стационарного препятствия. Затем вычисляется период времени, в течение которого АНПА может перемещаться, не активируя ГСОО. СУ отслеживает изменение этого временного интервала, пока он остается положительным. В противном случае СУ вычисляет период излучения зондирующих сигналов в активном режиме работы ГСОО и дает команду на включение активного режима.



3. Оптимизация конструктивных решений

Для расширения возможностей АНПА рассматривается добавление функционала телеуправляемых подводных аппаратов, позволяющего проводить контактные операции с объектами. В этот комплекс войдут манипуляторы, приборы для измерения толщины с использованием ультразвука, средства очистки поверхностей, а также оборудование для оценки эффективности электрохимической защиты от коррозии. Несмотря на сложность интеграции подобных систем в АНПА, эта задача представляется вполне выполнимой.

4. Интеллектуализация системы бортового управления

В контексте перспективного развития автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) выделяются два ключевых направления.

Первое направление заключается в совершенствовании интеллектуальных возможностей подводного робота. Это достигается за счет формализации и анализа текущей обстановки посредством создания модели окружающей среды или исследуемого объекта, формирования базы знаний и ее применения для управления действиями аппарата. Отличительной чертой этих работ является полная автоматизация процессов, исключающая необходимость вмешательства оператора.

Второе направление интеллектуализации АНПА – это возможность вмешательства оператора в критические моменты сложных технологических задач для принятия решений. Уровень участия оператора, включающий время, необходимое для принятия решения, и количество управляющих команд, зависит от характеристик доступных каналов связи.

5. Усовершенствование навигационных систем

В области подводной навигации АНПА изучаются инновационные подходы. В дополнение к методам высокоточного определения местоположения на длинных и глубоких маршрутах, таким как вертикальные акустические приемные системы и многолучевые эхолоты, рассматривается возможность использования прецизионного позиционирования при маневрировании или стабилизации аппарата вблизи исследуемого объекта, применяя как высокочастотные гидроакустические устройства, так и системы видеонавигации.

Предлагается формирование общих навигационных зон, охватывающих обширную территорию для группы устройств, функционирующих в определенном водном районе. Реализация подобного подхода может быть осуществлена, к примеру, посредством развертывания сети стационарных синхронизированных низкочастотных излучателей гидроакустических сигналов, совместно с бортовыми системами, установленными на роботах, измеряющими текущие расстояния до этих излучателей.

Анализ приводных систем захватов для промышленных роботизированных манипуляторов

Завалишинские чтения

И.С. Воробьев – магистрант 32 кафедры
В.М. Медунецкий д-р техн. наук, профессор, научный руководитель
Государственный Университет Аэрокосмического Приборостроения

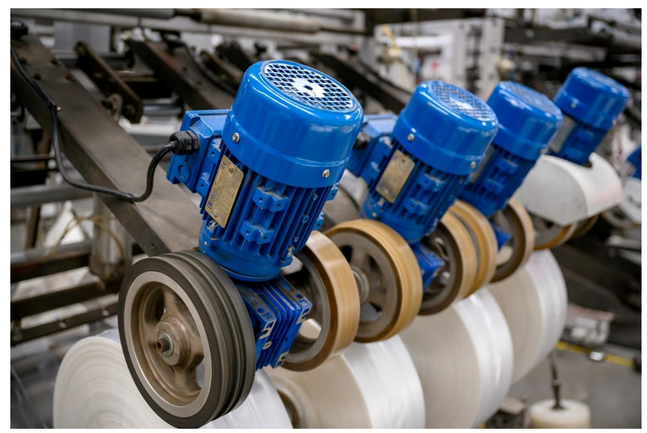
Аннотация

Статья посвящена анализу электрических приводов для захватов промышленных роботов, включая их принципы работы, особенности, массо-габаритные параметры и области применения. Рассмотрены ключевые типы двигателей: щёточные ДПТ, бесщёточные BLDC, серводвигатели, линейные и степперные приводы, а также современные тенденции в развитии робототехники.

Типы приводных систем

•Пневматические: высокая скорость, простота, но низкая точность.
•Гидравлические: большая мощность, применение в тяжелой промышленности.
•Электрические: высокая точность, гибкость, основа современных решений.

Тип привода	Особенности	Мощность	Масса	Габариты
ДПТ (щёточный)	Простая конструкция, низкая стоимость, искрение, износ щёток.	10 Вт – 2 кВт	0.5–15 кг	Ø 30–150 мм, длина 50–300 мм
BLDC	КПД до 90%, низкий шум, точное позиционирование, требуется драйвер.	50 Вт – 5 кВт	На 20–30% легче ДПТ	Компактные, плоский профиль (Ø 65 мм)
Серводвигатели	Точность до 0.001 мм, интеграция в промышленные сети, высокая динамика.	100 Вт – 10 кВт	1–50 кг	На 15–20% крупнее BLDC (встроенный энкодер)
Линейные приводы	Прямолинейное движение, пьезоприводы (нанометровая точность, ход ≤1 мм).	5Вт – 3 кВт	10г– 20кг	Длина 20 мм – 2 м
Степперные двигатели	Простое позиционирование без обратной связи, риск пропуска шагов.	1–500 Вт	0.1–5 кг	Кубические модули 20×20×20 мм – Ø 80 мм



Тенденции и перспективы

1.*Гибридные системы*:
- •*Описание*: Комбинация электрического и пневматического приводов.
- •*Изображение*: Схема захвата с двумя типами механизмов.

2.*Интеграция ИИ*:
- •*Описание*: Управление с помощью нейросетей.
- •*Изображение*: Робот с датчиками и подключением к компьютеру.

3.*Перспективные технологии*:
- •*Описание*: Пьезоэлементы, биогибридные мускулы.
- •*Изображение*: Миниатюрный пьезопривод или искусственная мышца.

Вывод

Электрические приводы обеспечивают высокую точность и адаптивность захватов промышленных роботов. Выбор типа двигателя зависит от задач: BLDC и сервоприводы для точности, линейные приводы для компактности, степперные для простоты. Будущее – за гибридными системами и ИИ.

Обзор моделей оценки риска повреждения ВЛЭП в зимний период

Завалишинские чтения 2023

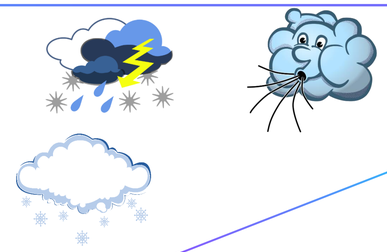
Работу выполнил: Дылыков Роман Эрдэмович г. 3324М
Научный руководитель: Солёная Оксана Ярославовна
Кафедра – Электромеханики и робототехники ГУАП

Актуальность:
Повреждения линий ведут к перебоям в электроснабжении и экономическим потерям. Поэтому важно разрабатывать надёжные методы оценки и снижения рисков для обеспечения стабильной работы энергосистем.

Цель:
Анализ существующих методов оценки риска повреждения ВЛЭП в зимний период и выявление наиболее эффективных подходов для повышения их надёжности.

Задачи:
- Провести обзор существующих методов оценки риска повреждения ВЛЭП в зимних условиях.
- Оценить эффективность применения физических моделей и метеорологических данных для прогнозирования обледенения.
- Рассмотреть возможности использования машинного обучения и геоинформационных систем для повышения точности прогноза.
- Разработать рекомендации по внедрению инновационных технологий для улучшения надёжности ВЛЭП в зимний период.

Экстремальные погодные условия зимой (снегопады, ледяные дожди, сильные морозы и ветры) представляют угрозу для надежности воздушных линий электропередач (ВЛЭП), вызывая механические повреждения проводов и опор. Эффективная оценка риска повреждения ВЛЭП требует комплексного подхода, включая физическое моделирование, метеорологическое прогнозирование, машинное обучение и геоинформационные системы.



методы

Физическое моделирование и эмпирические расчеты

Использование математических моделей и лабораторных исследований для оценки воздействия неблагоприятных погодных условий (например, обледенения) на элементы воздушных линий электропередач (ВЛЭП). Расчеты основываются на параметрах, таких как масса льда, механическая прочность проводов и опор, а также динамические нагрузки от ветра.

Геоинформационные системы (ГИС)

ГИС-технологии применяются для картографического анализа рисков повреждения ВЛЭП, учитывая климатические и географические особенности. Эти системы позволяют визуализировать зоны повышенного риска, определять участки, где чаще всего образуется наледь, и планировать защитные меры для предотвращения повреждений.

Алгоритмы машинного обучения

Этот метод включает использование искусственного интеллекта для анализа больших объемов данных, выявляя закономерности, которые трудно заметить традиционными методами. Алгоритмы машинного обучения помогают более точно прогнозировать аварийные ситуации, анализируя данные о климатических условиях и прошлых инцидентах.

Прогнозирование на основе метеорологических данных

$$P_0 = \pi \cdot d \cdot t \cdot \rho$$

Метеорологические данные (температура, влажность, скорость ветра и осадки) используются для прогнозирования риска обледенения проводов. Индекс гололедообразования (например, расчет по формуле с использованием скорости ветра, влажности и температуры) помогает выявить потенциальные опасности и принять меры защиты на основе прогноза.

$$I = \frac{V \cdot RH}{T + 10}$$

Заключение: Оценка риска повреждения воздушных линий электропередач в зимний период является важной частью обеспечения надежности энергоснабжения. Применение комплексного подхода, включающего физическое моделирование, прогнозирование на основе метеорологических данных, машинное обучение и геоинформационные системы, значительно улучшает точность предсказаний и позволяет разработать эффективные меры защиты от экстремальных погодных условий. Это способствует минимизации аварийных ситуаций, снижению экономических потерь и обеспечению бесперебойной работы электроэнергетической инфраструктуры в условиях зимних холодов и экстремальных осадков.

вероятность безотказной работы в интервале времени
вероятность безотказной работы системы или её невосстанавливаемого элемента.
n - число восстановлений, равное числу отказов, - время, затраченное на восстановление (обнаружение, поиск причины и устранение отказа), в часах.

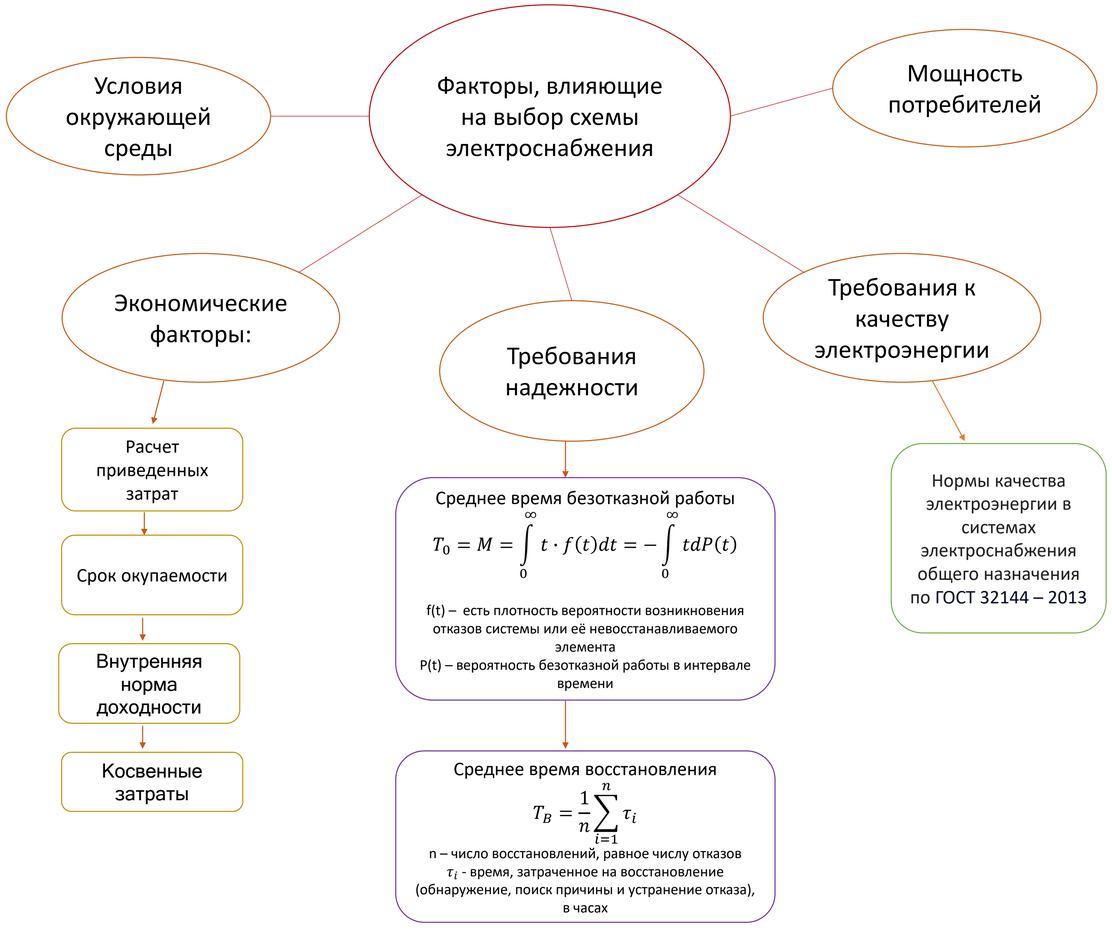
Анализ и выбор оптимальной схемы электроснабжения промышленного цеха

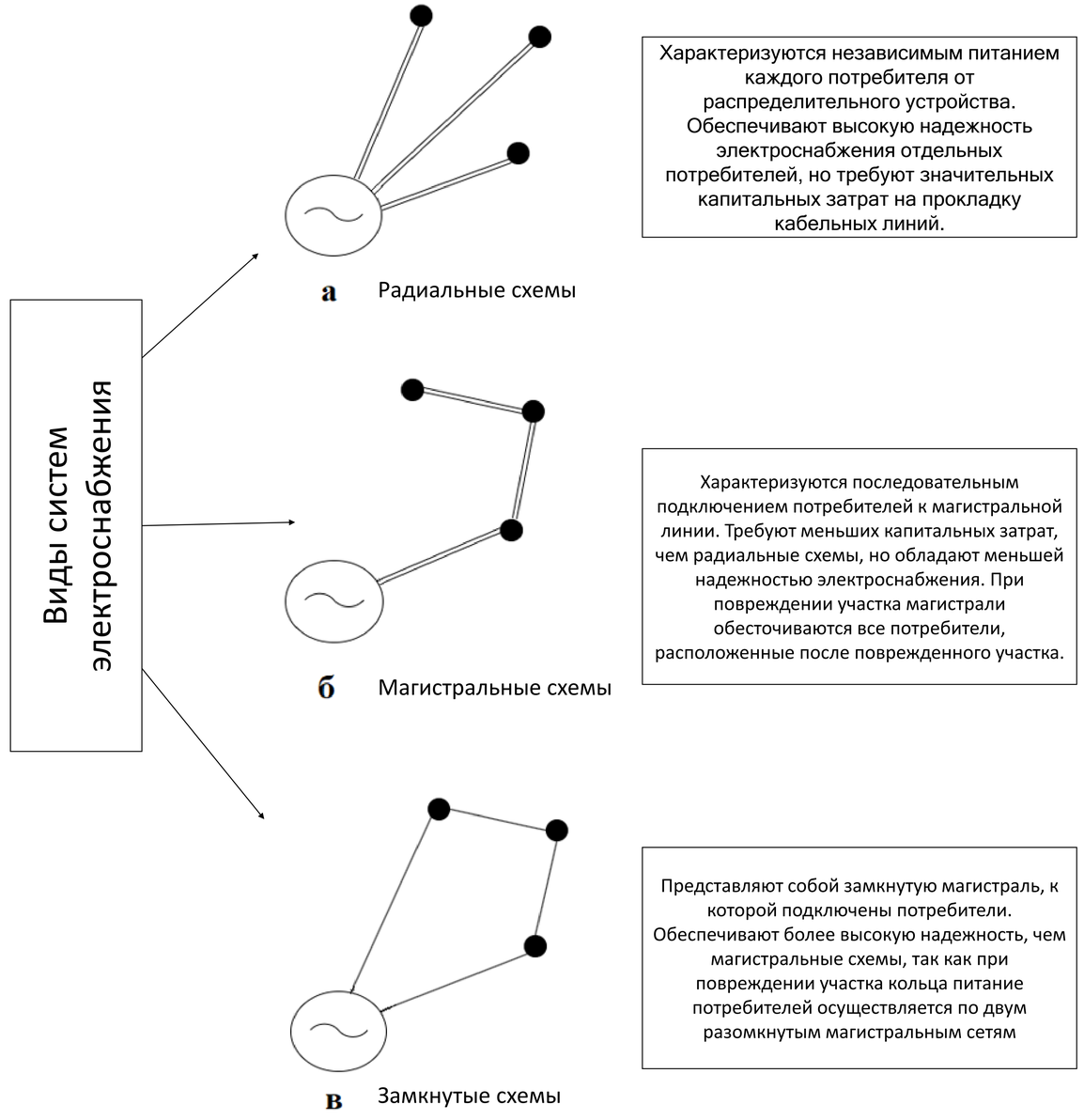
Завалишинские чтения

Работу выполнил: Ершов Максим Владимирович, студент кафедры электромеханики и робототехники, ГУАП

Научный руководитель: Солёная Оксана Ярославовна, кандидат технических наук, доцент, ГУАП

Выбор оптимальной схемы электроснабжения промышленного цеха является сложной задачей, требующей учета множества факторов.





Выводы

Для цехов высокими требованиями к надежности электроснабжения и значительной мощностью потребителей рекомендуется использовать кольцевые схемы или радиальные.

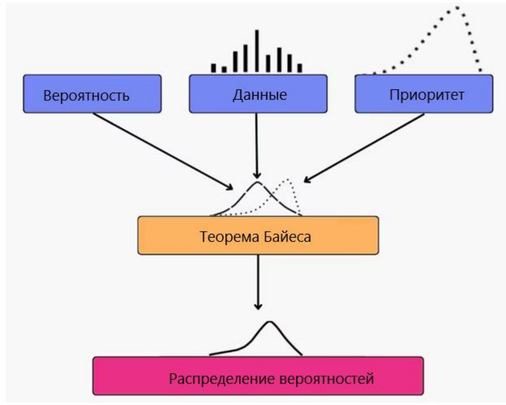
Для цехов с менее высокими требованиями к надежности электроснабжения и небольшой мощностью потребителей можно использовать магистральные схемы с секционированием и АВР.

В любом случае, выбор оптимальной схемы электроснабжения должен основываться на технико-экономическом обосновании, учитывающем все особенности конкретного промышленного цеха.

Исследование существующих методов машинного обучения

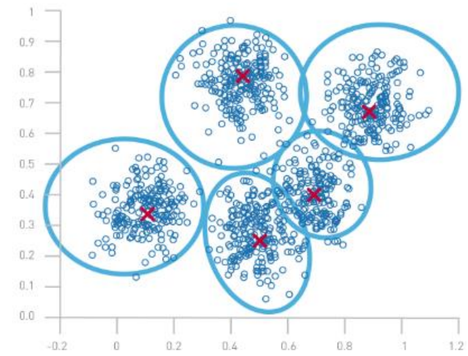
Завалишинские чтения

Автор: Задорожный В.К.
Государственный университет аэрокосмического приборостроения

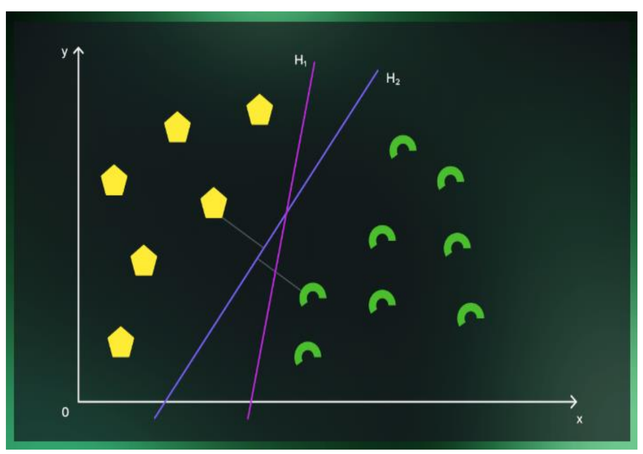


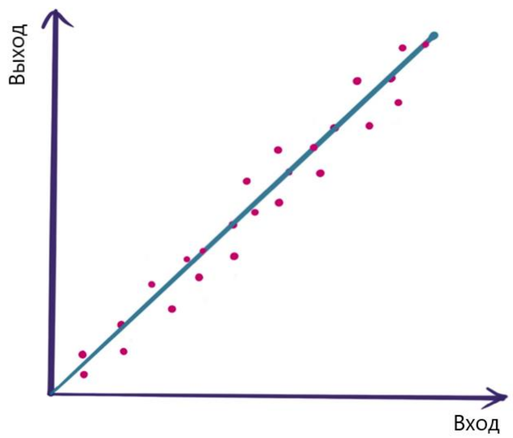
Машинное обучение – это сочетание алгоритмов искусственного интеллекта, задача которых является создание самообучающихся компьютерных систем (нейросетей). Термин «машинное обучение», введенный американским ученым-компьютерщиком Артуром Сэмюэлем в 1959 году, определяется как «способность компьютера учиться без явного программирования». Таким системам разработчики загружают готовые данные и предъявляют критерии оценивания для успешного прохождения, а не готовые алгоритмы. Благодаря им, нейросеть проходит процесс обучения.

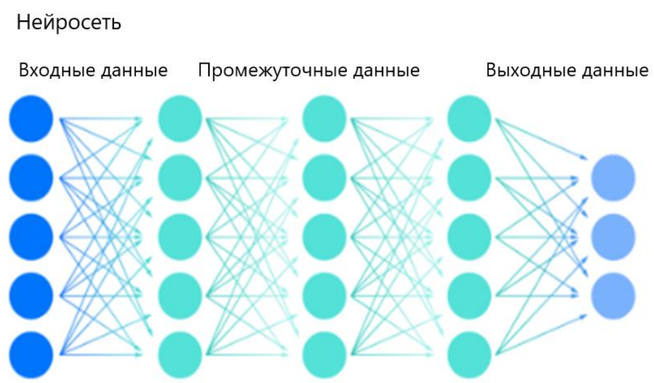
Задачи: кластеризация, классификация, регрессия, сокращение размерности.



Наивный Байесовский алгоритм
Алгоритм K-средних
Алгоритм опорных векторов
Регрессионный анализ
Нейронная сеть







Д. М. Крылов, А. В. Степанов, В. В. Назаренко - бакалавры кафедры электромеханики и робототехники
Е. С. Квас - старший преподаватель кафедры №32 - научный руководитель.
ГУАП

Современная эпоха цифровой трансформации предъявляет новые требования к операционному управлению предприятий. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) становится одним из инновационных методов для оптимизации производственных процессов и повышения точности принятия управленческих решений.

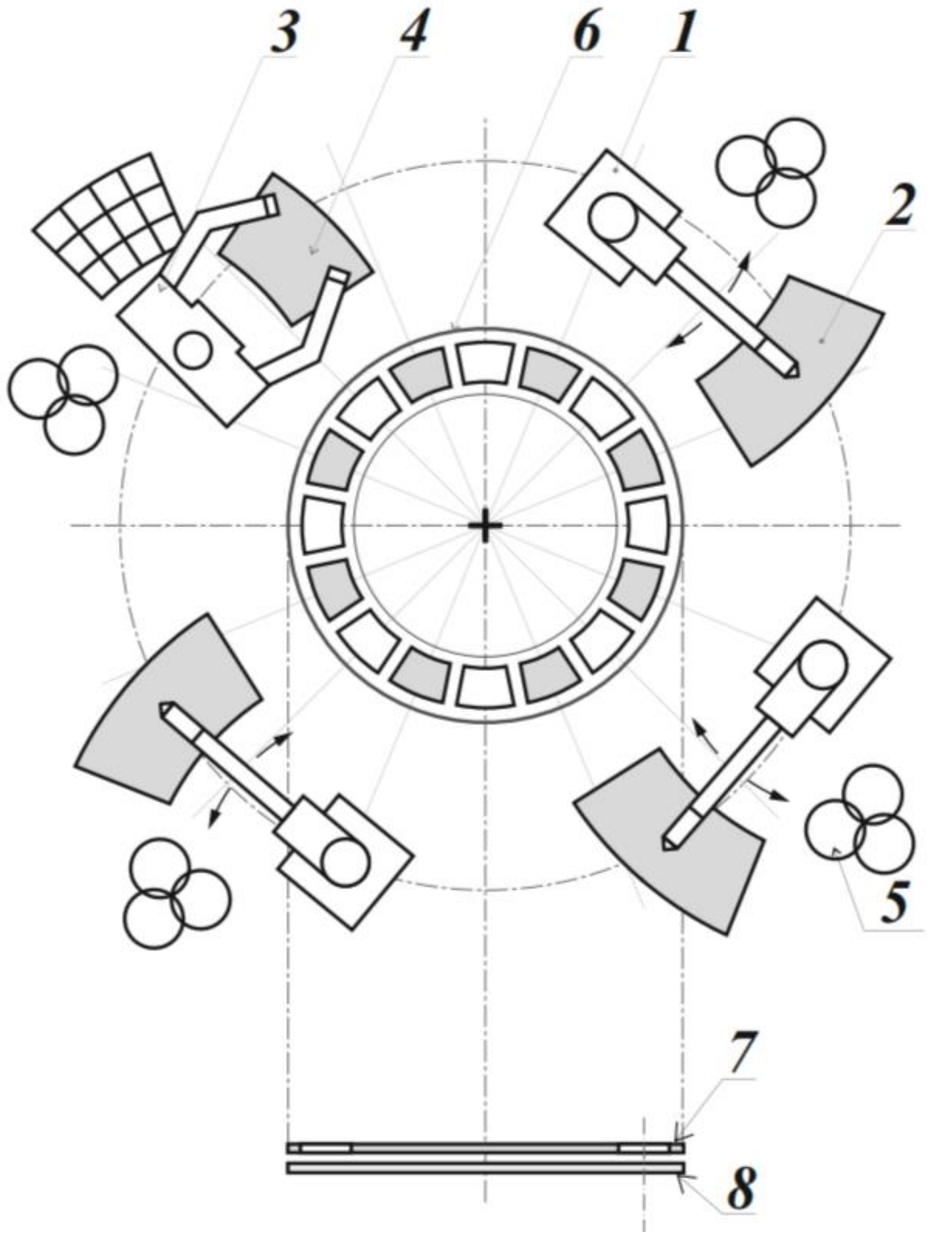
С помощью ряда технологий, трансформирующих традиционные методы управления, ИИ позволяет:

- Сократить издержки и повысить продуктивность.
- Улучшить распределение ресурсов и обеспечить своевременную поставку продукции.
- Повысить качество выпускаемой продукции и услуг.

Д. М. Крылов, Степанов А. В., Назаренко В. В. - бакалавры кафедры электромеханики и робототехники

М. В. Сержантова - кандидат технических наук, доцент - научный руководитель. СПБГУАП

Внедрение голосового помощника в системы совместной работы человека и робота повышает безопасность, гибкость и эффективность производства. Оперативное управление и контроль в рабочей зоне, исключающие необходимость отвлекаться, позволяют быстро реагировать на ситуации, продлевают срок службы оборудования и обеспечивают максимальную производительность и безопасность, сочетая автоматизацию и участие человека.



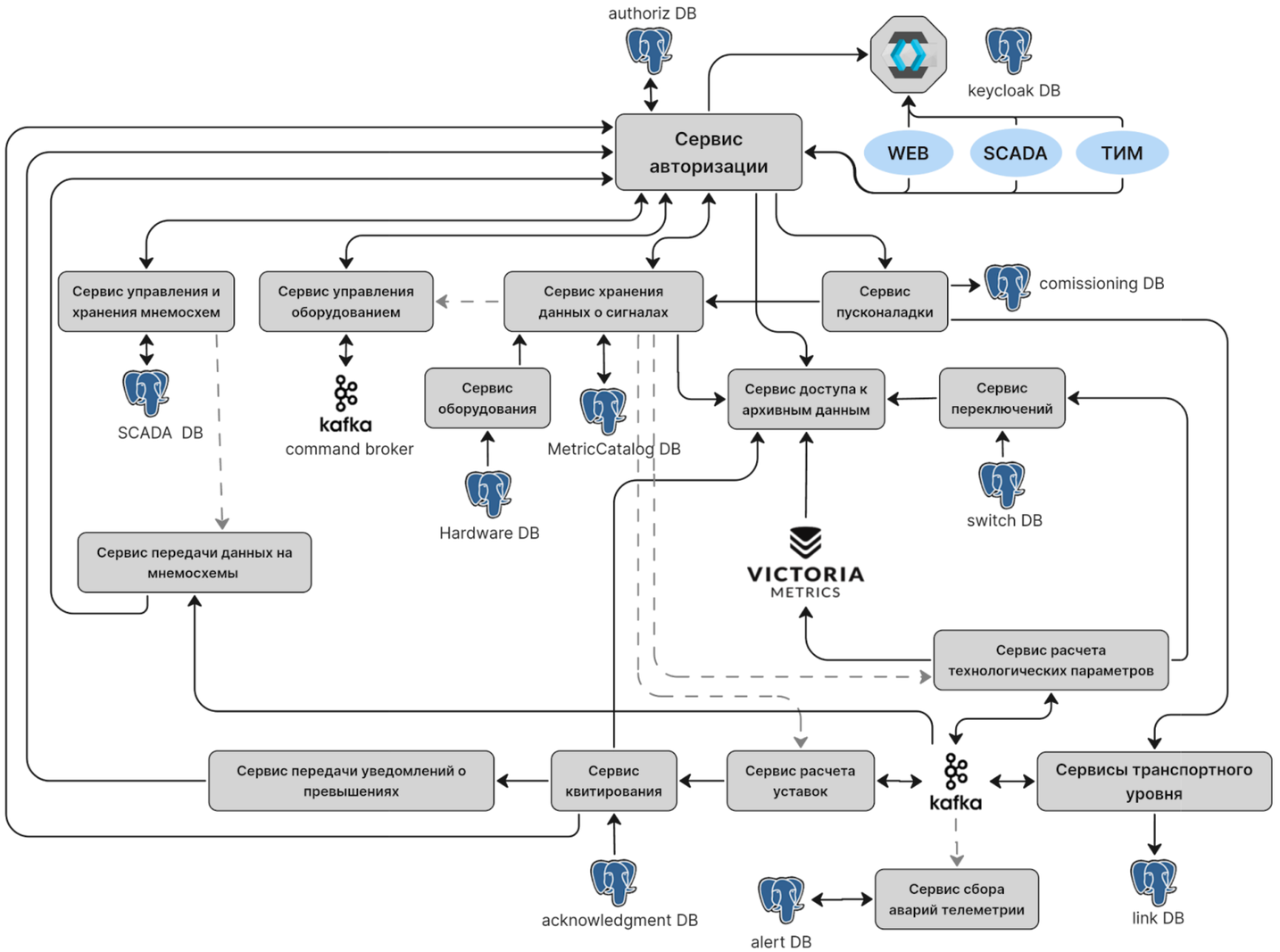
Д. М. Крылов, А. В. Степанов, В. В. Назаренко - бакалавры кафедры электромеханики и робототехники

Е. С. Квас - старший преподаватель кафедры №32 - научный руководитель.

ГУАП

Интеграция интеллектуальной платформы для работы с данными революционно меняет подход к управлению ресурсами.

Автоматизированный сбор, глубокая аналитика и наглядная визуализация позволяют сократить издержки, минимизировать риски и создать прозрачную экосистему, привлекательную для всех участников бизнес-процесса.



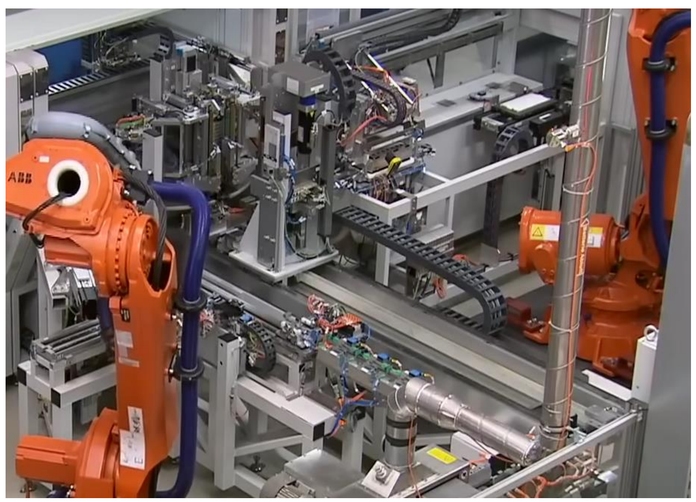
Анализ существующих мехатронных систем линейного перемещения

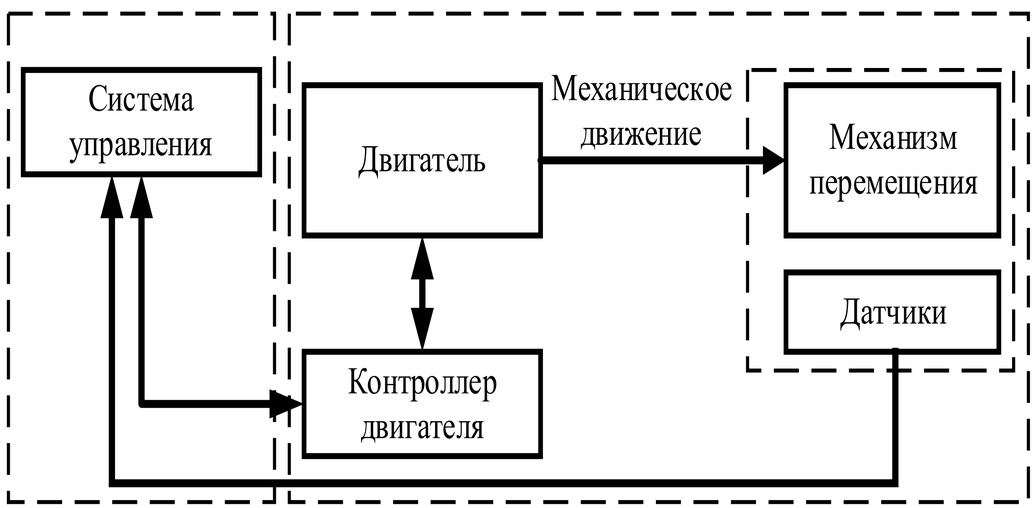
Работу выполнил: Лизько Владимир Николаевич – магистрант кафедры электромеханики и робототехники
Научный руководитель: Савельев Николай Вячеславович – доцент, кандидат технических наук

На любом производстве, авиационном, судостроительном, машиностроительном, автомобильном, металлургическом или любом другом, выполняется технологический процесс по выпуску той или иной продукции. При этом эти операции могут быть основными – это изготовление, сборка и т.п. так и вспомогательными – перемещение и удержание. Для обеспечения всех этих операций используется оборудование, которое так же подразделяется на основное, для обеспечения выполнения основных технологических операций, и вспомогательное – обеспечение вспомогательных операций.

Целью данной работы является рассмотрение и анализ существующих мехатронных модулей линейного перемещения. Объект исследования – мехатронные модули линейного перемещения.

Мехатронные устройства линейного перемещения – это системы, которые объединяют механические, электронные и программные компоненты для выполнения поступательного движения по прямой траектории. Они используются для точного перемещения объектов в различных плоскостях. Основными элементами являются двигатели, направляющие, контроллеры и датчики. Устройства линейного перемещения применяются в машиностроении и тяжёлой промышленности, обеспечивая скорость и надежность при выполнении вспомогательных задач.





«Алгоритмы идентификации электромагнитных полей: обзор и классификация»; «Практическое применение алгоритмов расчета электромагнитных полей»

Завалишинские чтения

Р.А. Литвинов – Студент кафедры электромеханики и робототехники, ГУАП
Ю.А. Ганьшин – Кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

«Алгоритмы идентификации электромагнитных полей: обзор и классификация»

Классификация алгоритмов идентификации ЭМП

- Тип используемого математического аппарата (классические методы решения обратных задач, алгоритмы машинного обучения, гибридные методы);
- Тип решаемой обратной задачи;
- Тип входных данных;
- Область применения;
- Требования к вычислительным ресурсам и времени решения задачи.

Классические методы решения обратных задач электродинамики:

- Метод конечных элементов (МКЭ);
- Метод моментов (ММ);
- Методы регуляризации;
- Метод граничных элементов (МГЭ).

Алгоритмы машинного обучения для идентификации ЭМП

- Использование нейронных сетей;
- Использование генетических алгоритмов;
- Использование методов опорных векторов (SVM);

Примеры применения алгоритмов идентификации ЭМП в электротехнике

- Идентификация источников ЭМП;
- Оценка электромагнитной обстановки;
- Диагностика неисправностей;
- Оптимизация конструкции устройства.

«Практическое применение алгоритмов расчета электромагнитных полей»

Применение в проектировании радиоэлектронных устройств

- Проектирование антенн;
- Разработка волноводов и резонаторов;
- Анализ электромагнитной совместимости (ЭМС);
- Проектирование интегральных схем и тд;

Применение в медицине

- Магнитно-резонансная томография (МРТ);
- Гипертермия;
- Электростимуляция;
- Иные методы диагностики и лечения.

Применение в неразрушающем контроле

- Магнитопорошковый метод;
- Индукционный метод;
- Магниторезистивный метод;
- Магнитографический метод;
- Феррозондовый метод;
- Метод эффекта Холла;
- Пондеромоторный метод.

Применение в энергетике

Применение алгоритмов расчета электромагнитных полей (ЭМП) в энергетике играет важную роль в проектировании, эксплуатации и оптимизации различных электроэнергетических систем, таких, как трансформаторы, электрические машины, кабельные линии и многое другое.

Другие области применения

Алгоритмы расчета ЭМП находят широкое применение в различных областях, включая геофизику, транспорт, радиотехнику.

«Применение магнитного поля при диагностике электротехнических объектов: обзор методов и перспектив»; «Проблемы определения электромагнитных полей реальных электротехнических объектов: обзор и возможные варианты решения»

Завалишинские чтения

Р.А. Литвинов – Студент кафедры электромеханики и робототехники, ГУАП
Ю.А. Ганьшин – Кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

«Применение магнитного поля при диагностике электротехнических объектов: обзор методов и перспектив»

Методы диагностики, основанные на анализе магнитного поля:

Магнитопорошковый метод.

Метод визуализирует дефекты в ферромагнетиках, используя магнитный порошок, который скапливается в местах искажения магнитного поля, вызванных дефектами.

Индукционный метод.

Метод, основанный на измерении ЭДС, индуцированной в катушке при изменении магнитного потока.

Магниторезистивный метод.

В основе метода используется изменение электрического сопротивления магниторезистивного материала под воздействием магнитного поля для измерения его величины.

Магнитографический метод.

Запись и считывание информации путем намагничивания материала носителя

Феррозондовый метод.

Этот высокочувствительный метод измеряет слабые магнитные поля, используя феррозонд – датчик, сердечник которого возбуждается переменным полем, и измеряется изменение его магнитных свойств под воздействием внешнего поля.

Метод эффекта Холла.

Метод основан на возникновении напряжения Холла в проводнике с током, помещенном в магнитное поле

Пондеромоторный метод.

Метод измерения магнитных полей, основанный на измерении силы, действующей на пробное тело с известным магнитным моментом в магнитном поле.

Перспективы связаны, главным образом, в совершенствовании средств контроля и вычислительной техники, методик измерения и алгоритмов обработки данных.

«Проблемы определения электромагнитных полей реальных электротехнических объектов: обзор и возможные варианты решения»

Основные проблемы определения ЭМП реальных ЭТО

Определение ЭМП реальных ЭТО сопряжено с рядом существенных проблем, требующих инновационных подходов и нестандартных решений. Эти проблемы можно условно классифицировать по нескольким основным категориям, что позволит более структурировано подойти к поиску эффективных методов их преодоления и систематизации доступных знаний:

- Сложная геометрия и конфигурация объектов;
- Неоднородность свойств материалов;
- Нелинейные процессы;
- Переходные режимы работы;
- Влияние окружающей среды;
- Ограниченность информации об объекте.

Возможные варианты решения проблем определения ЭМП реальных ЭТО

- Совершенствование математических моделей и численных методов;
- Использование методов машинного обучения;
- Разработка и совершенствование методов измерения;
- Использование методов оптимизации;
- Создание информационных систем и баз данных;
- Разработка новых стандартов и методик.

Из вышерассмотренного следует, что основные методы решения данной проблемы связаны, прежде всего, с совершенствованием методик измерения и построения моделей, совершенствованием технологий, также следует отметить высокий потенциал применения методов машинного обучения, с учетом высокого уровня их развития.

От рутины к инновациям: Современные технологии генерации кода и их будущее

Завалишинские чтения

Автор: Д.Д. Макаренко
Научный руководитель: С.Б. Рудницкий
ГУАП

Цель исследования:

Изучение влияния AI-кодогенерации на рынок труда разработчиков, выявление перспектив внедрения технологий

Ключевые аспекты исследования:

- AI ускоряет рутинные процессы: автодополнение кода, автоматизация тестирования. С развитием технологий кодогенерации
- Ограничения: низкая продуктивность в нестандартных задачах (архитектура, оптимизация систем, проблемы с нешаблонными решениями).
- Изменение требований работодателей и рынка труда. Запросы к начинающим специалистам растут, в то время как спрос на них нестабилен. В то же время на рынке труда наблюдается нехватка опытных разработчиков.

Основные результаты

Сравнение сфер быстрого/медленного внедрения AI в разработку

Быстрое внедрение	Медленное внедрение
Области с высокой важностью скорости разработки и не критичными последствиями ошибок.(Веб-разработка, low-code платформы, геймдев)	Разработка критически важных систем, в которых ошибки недопустимы.(авиация, медицина, embedded-разработка) Разработка высоконагруженных систем.

Влияние технологий генерации кода на рынок труда

- Требования к начинающим специалистам растут
- Спрос на опытных разработчиков увеличивается
- Заметна тенденция на смену функциональных ролей программистов – от написания шаблонного кода к принятию архитектурных решений

Сравнительный анализ методов диагностики робототехнических систем

Митюков Данил Сергеевич, ГУАП

Завалишинские чтения

Цель исследования
Анализ современных методов диагностики робототехнических систем на основе энергетических показателей для повышения надежности и эффективности их работы.

Актуальность
Робототехнические системы широко применяются в промышленности, медицине, логистике и других сферах. Их отказ приводит к значительным финансовым и производственным потерям. Традиционные методы обслуживания (планово-предупредительные ремонты) уступают место прогнозной диагностике, основанной на анализе энергетических потерь.

Ключевые слова
вибрационная диагностика, тепловая диагностика, токовый анализ, энергетические потери, прогнозное обслуживание.

Сравнительная таблица методов

Критерий	Вибрационная диагностика	Тепловая диагностика	Текущая диагностика
Тип дефектов	Механические (износ, дисбаланс)	Тепловые аномалии	Электрические и механические
Чувствительность	Высокая	Средняя (для поверхностных)	Высокая (для электромеханики)
Сложность анализа	Высокая	Средняя	Высокая
Стоимость	Высокая	Средняя	Низкая (если есть датчики)

Методы диагностики

Вибрационная диагностика

Принцип: Анализ вибрационных сигналов (виброускорение, виброскорость, виброперемещение).
Преимущества:
Неразрушающий контроль.
Раннее обнаружение дефектов (дисбаланс, износ подшипников, дефекты зубчатых передач).
Недостатки:
Необходимость сложной обработки сигналов (спектральный анализ, огибающая).
Чувствительность к шумам.
Оборудование: Акселерометры, анализаторы спектра.

Диагностика по току электродвигателя

Принцип: Анализ изменений тока в обмотках двигателя (гармоники, модуляция сигнала).
Преимущества:
Не требует доступа к механическим узлам.
Мониторинг состояния в реальном времени.
Недостатки:
Чувствительность к электромагнитным помехам.
Требует сложной обработки данных (FFT, машинное обучение).
Оборудование: Токовые датчики, анализаторы спектра.

Тепловая диагностика

Принцип: Контроль температуры узлов (перегрев указывает на износ, недостаток смазки, несоосность).
Преимущества:
Бесконтактность.
Высокая точность (современные тепловизоры – до 0,1 ° C).
Недостатки:
Не выявляет внутренние дефекты.
Зависит от внешних тепловых помех.
Оборудование: Тепловизоры, пирометры, термопары.

Ссылка на полный текст статьи

Практическая значимость
Внедрение комплексных методов диагностики позволит:
Снизить затраты на ремонт.
Увеличить срок службы оборудования.
Перейти от плановых ремонтов к обслуживанию по состоянию.

Выводы и рекомендации
Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения.
Оптимальный подход – комбинированная диагностика (например, вибрация + ток для электродвигателей).
Перспективное направление – разработка **энергетических моделей диагностики**, учитывающих совокупность параметров.

Роль искусственного интеллекта в трансформации промышленности: от анализа данных к прогнозированию

Завалишинские чтения

ГУАП

Авторы:
А.Э.Цветков - студент кафедры управления в технических системах
Р.С.Рудяк - студент кафедры управления в технических системах
А.А.Никольская - студент кафедры управления в технических системах

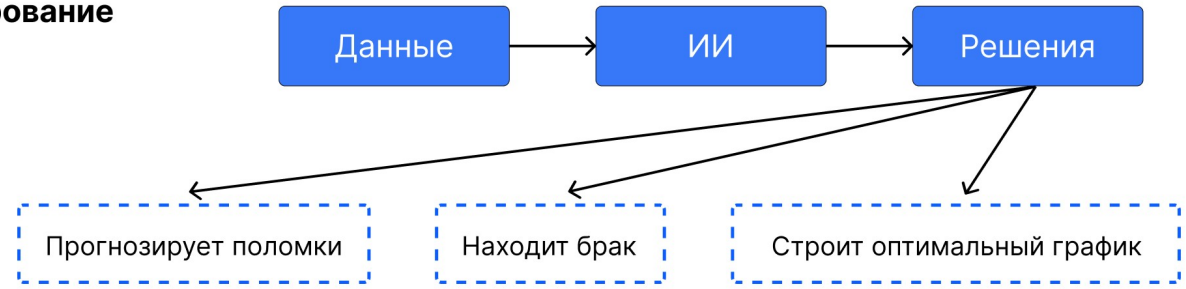
Научный руководитель:
Н.Л.Гречкин - старший преподаватель

О проекте:

Искусственный интеллект (ИИ) revolutionизирует промышленность, повышая эффективность, снижая затраты и улучшая качество продукции. ИИ анализирует большие объемы данных, прогнозирует неисправности и оптимизирует процессы, заменяя устаревшие методы.

1 Гибкое планирование производства

- Прогнозирование поломок и брака.
- Оптимизация графика работы оборудования.



2 Датчики и сбор данных

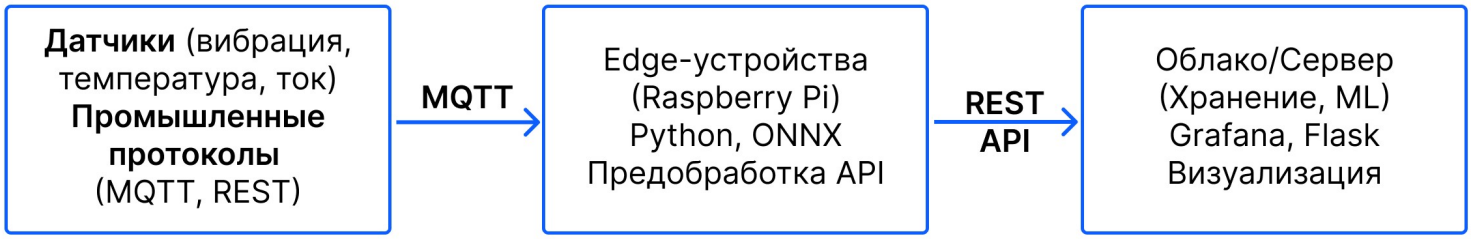
Мониторинг в реальном времени:
🔹 Вибрация (ADXL345) – контроль износа.
🔹 Температура (DS18B20) – предотвращение перегрева.
🔹 Ток (ACS712) – анализ нагрузки.
📶 Передача данных: MQTT (Mosquitto) и REST API (Flask).

3 Прогнозирование

📊 Данные: 50 000+ записей (норма, предупреждение, авария).
⚙️ Алгоритм: Gradient Boosting (точность 89%).
Результат:
🟢 Норма → Продолжать работу.
🟡 Предупреждение → Запланировать ТО.
🔴 Авария → Остановить оборудование.

Результат: Меньше простоев, экономия до 30%
- **Стек: Python, Sklearn, ONNX, MQTT**
- **Задержки: < 0.5 сек на edge-устройствах**

4 Блок: Архитектура системы



Датчики передают данные через MQTT (Mosquitto) в реальном времени.

Edge-устройства: Предобработка: FFT (анализ вибрации), тренды температуры.

REST API (Flask) для внешних системам. Визуализация в Grafana и сбор метрик Prometheus.

Внедрение ИИ создает интеллектуальную систему управления, адаптирующуюся к изменениям и минимизирующую человеческий фактор, что открывает путь к Industry 4.0.

Завалишинские чтения

Анализ постквантовых протоколов забывчивой передачи данных

Хуцаева А.Ф.[1,2], Леевик А.Г.[2], Беззатеев С.В.[1]

[1]Санкт – Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического Приборостроения
[2]Университет ИТМО

Актуальность

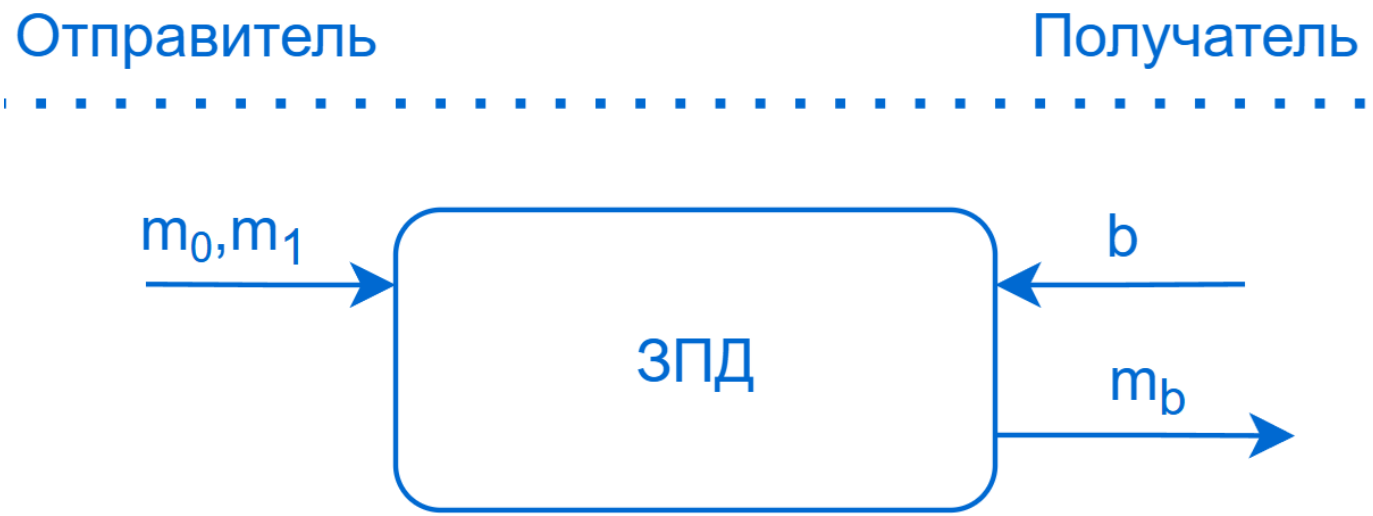
Завалишинские чтения

- ✓ Конфиденциальные вычисления - активно развивающаяся область криптографии
- ✓ Протокол забывчивой передачи - важная составляющая конфиденциальных вычислений
- ✓ Главная уязвимость - неустойчивость к атакам с использованием квантового компьютера

Разработка **квантово-устойчивых** вариантов протокола забывчивой передачи данных

Протокол забывчивый передачи данных

Протокол забывчивой передачи данных (ЗПД) – это двусторонний криптографический протокол, позволяющий отправителю передать данные $\{m_0, m_1\}$ получателю по его $i \in \{0,1\}$ таким образом, что отправитель не узнает, выбор получателя i, а получатель не узнает ничего о m_{1-b}.



Модель атакующего

- Пассивный
- Активный

Стратегия атакующего:

- Статический
- Адаптивный

Модель безопасности

UC

Standalone

Показатели эффективности

Эффективность:

- ✓ Объем передаваемых данных
- ✓ Количество раундов коммуникации
- ✓ Скорость работы протокола

Направления постквантовой криптографии

- **Решетки**: задача обучения с ошибками
- **Коды, исправляющие ошибки**: синдромное декодирование
- **Изогении**: поиск изогении между эллиптическими кривыми
- **Многомерные уравнения**: решение систем нелинейных уравнений с множеством переменных над конечными полями
- **Хэш-функции**: поиск прообраза, коллизий

Сравнительный анализ ЗПД

Завалишинские чтения

Длина сообщения – 256 байт, уровень стойкости – 192 бита

Протокол	Задача	Модель атакующего	Стратегия атакующего	Объем данных, Кб	Модель безопасности	Раунды
Mansy-Rindal [1]	MLWE	Эндемический	Адаптивная	4.5	Standalone	2
Dong и др. [2]	MLWR	Активный отправитель; получестный получатель	Статическая	2.2	UC	2
Lai и др. [3]	Обоюдный CSIDH	Получестный	Статическая	0.22	UC	2
		Активный	Статическая	0.53	UC	4
CROOT [4]	Синдромное декодирование	Активный	Адаптивная	33	UC	2
Blazy и др. [5]	LWE	Активный	Адаптивная	313 825	UC	2
Branco и др. [6]	RLWE	Активный	Статическая	3	UC	4
Kundu и др. [7]	MQ	Получестный	Статическая	764.2	Standalone	3
Barreto и др. [8]	Синдромное декодирование	Активный	Адаптивная	19.4	UC	2

Сравнительный анализ ЗПД

Завалишинские чтения

Длина сообщения – 256 байт, уровень стойкости – 192 бита

Протокол	Задача	Модель атакующего	Стратегия атакующего	Объем данных, Кб	Модель безопасности	Раунды
Mansy-Rindal [1]	MLWE	Эндемический	Адаптивная	4.5	Standalone	2
Dong и др. [2]	MLWR	Активный отправитель; получестный получатель	Статическая	2.2	UC	2
Lai и др. [3]	Обоюдный CSIDH	Получестный	Статическая	0.22	UC	2
		Активный	Статическая	0.53	UC	4
CROOT [4]	Синдромное декодирование	Активный	Адаптивная	33	UC	2
Blazy и др. [5]	LWE	Активный	Адаптивная	313 825	UC	2
Branco и др. [6]	RLWE	Активный	Статическая	3	UC	4
Kundu и др. [7]	MQ	Получестный	Статическая	764.2	Standalone	3
Barreto и др. [8]	Синдромное декодирование	Активный	Адаптивная	19.4	UC	2

Заключение

Завалишинские чтения

- Наиболее перспективное направление постквантовых ЗПД с точки зрения объемов данных – **изогении эллиптических кривых**, однако время работы алгоритмов больше чем у других постквантовых протоколов
- Баланс между скоростью работы алгоритмов и размером передаваемых данных предлагает криптография на **решетках**
- Схемы на кодах предлагают более сильные обоснования стойкости, но создают большую нагрузку на канал передачи

Список источников

Завалишинские чтения

1. Mansy D., Rindal P. Endemic oblivious transfer //Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – 2019. – С. 309-326.
2. Dong S. et al. A Simple Post-Quantum Oblivious Transfer Protocol from Mod-LWR //Cryptology ePrint Archive. – 2024. URL: https://eprint.iacr.org/2024/1116
3. Lai Y. F., Galbraith S. D., Delpech de Saint Guilhem C. Compact, efficient and UC-secure isogeny-based oblivious transfer //Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques. – Cham : Springer International Publishing, 2021. – С. 213-241.
4. Aragon N. et al. CROOT: Code-based Round-Optimal Oblivious Transfer //ICETE (2). – 2020. – С. 76-85.
5. Blazy O., Chevalier C., Vu Q. H. Post-quantum UC-secure oblivious transfer in the standard model with adaptive corruptions //Proceedings of the 14th International Conference on Availability, Reliability and Security. – 2019. – С. 1-6.
6. Branco P. et al. A framework for universally composable oblivious transfer from one-round key-exchange //Cryptography and Coding: 17th IMA International Conference, IMACC 2019, Oxford, UK, December 16–18, 2019, Proceedings 17. – Springer International Publishing, 2019. – С. 78-101.
7. Kundu N., Debnath S. K., Mishra D. 1-out-of-2: post-quantum oblivious transfer protocols based on multivariate public key cryptography //Sādhanā. – 2020. – Т. 45. – №. 1. – С. 209.
8. Barreto P. S. L. M. et al. A framework for efficient adaptively secure composable oblivious transfer in the ROM //arXiv preprint arXiv:1710.08256. – 2017. URL: https://eprint.iacr.org/2017/993

Анализ постквантовых протоколов забывчивой передачи данных

Докладчик: Антон Леевик (anton.leevik@gmail.com)

Image registration algorithm based on object pattern search and matching methods

Авторы: S.S. Beknazarova
Организация: Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al- Khwarizmi

Abstract

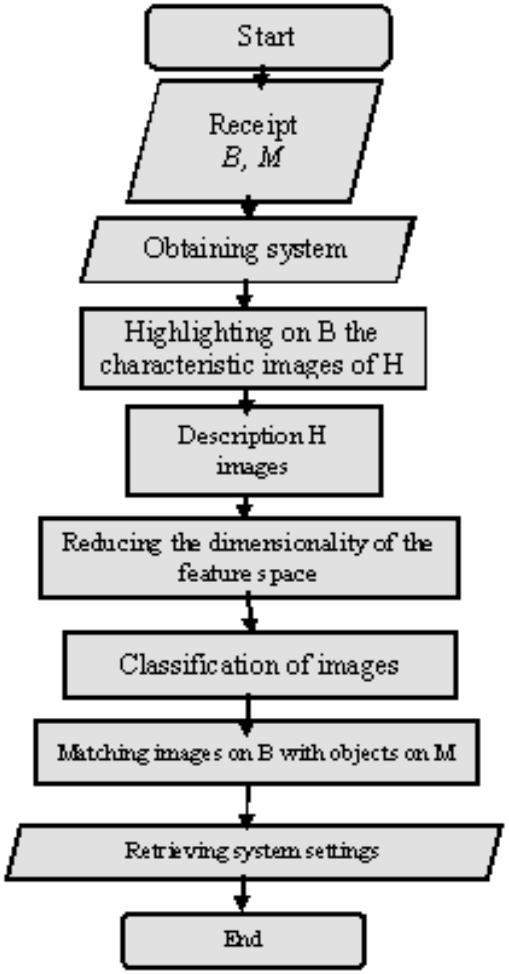
THE PAPER PRESENTS AN IMAGE REGISTRATION ALGORITHM BASED ON OBJECT PATTERN SEARCH AND MATCHING METHODS. THE MAIN TASK OF THE ALGORITHM IS TO ACCURATELY REGISTER IMAGES OBTAINED FROM DIFFERENT SOURCES OR UNDER DIFFERENT SHOOTING CONDITIONS, SUCH AS SCALE, VIEWING ANGLE, OR ILLUMINATION.

- THE PAPER DESCRIBES THE STAGES OF IMAGE PREPROCESSING, KEY FEATURE EXTRACTION, AND THE APPLICATION OF MATCHING AND TRANSFORMATION METHODS TO ACHIEVE ACCURATE SUPERPOSITION. THE PROPOSED ALGORITHM CAN BE APPLIED IN SUCH AREAS AS VISUALIZATION AND COMPUTER VISION. THE EXPERIMENTAL RESULTS CONFIRM THE HIGH ACCURACY AND EFFICIENCY OF THE PROPOSED METHOD WHEN WORKING WITH VARIOUS TYPES OF IMAGES.

The artificial intelligence system consists of the following modules

- module for highlighting characteristic images in a photograph (1);
- characteristic image classification module (2);
- module for searching for matches between images selected in the photograph and objects present in the frame (3).
- $P_{raw\ edu} = find_{edu}(B, M, crood) =$
- $conform\big(B, M, coord, classification(separation(B), desc)\big)$;
- $H = separation(B)$;(1)
- C= $classification(H, desc)$;(2)
- $P_{raw\ edu} = conform(B, M, coord, C)$;(3)
- $H = \{h\},\ h \subset B$;
- $C = \{c\},\ c \subset H$;
- $\forall c_m;\ c_n \in C;\ \ c_m \cap c_n = \emptyset$;
- $\nu = desc(h);\ \nu = \{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_\emptyset\};\ \forall \nu_0 \in \mathbb{R};\ \Theta \in \mathbb{N}$; (4)
- $h_c \in c;\quad h_c \in H.$

Fig. 1. Algorithm for modeling an artificial intelligence system



The scheme of the algorithm for modeling the artificial intelligence system is shown in Fig. 1. The modeling algorithm consists of the following stages:

- 1) selection of characteristic images in the image (1) using the multidimensional Kohonen neural map;
- 2) description of the selected images (4) using the energy characteristics of Lavs and the textural features of Haralik;
- 3) reducing the dimensionality of the feature space using PCA-sega;
- 4) classification of characteristic images (2) using a tree-type classifier;
- 5) search for correspondences between the images highlighted in the photograph and the objects present in the frame (3).

The image extraction algorithm consists of the following stages:

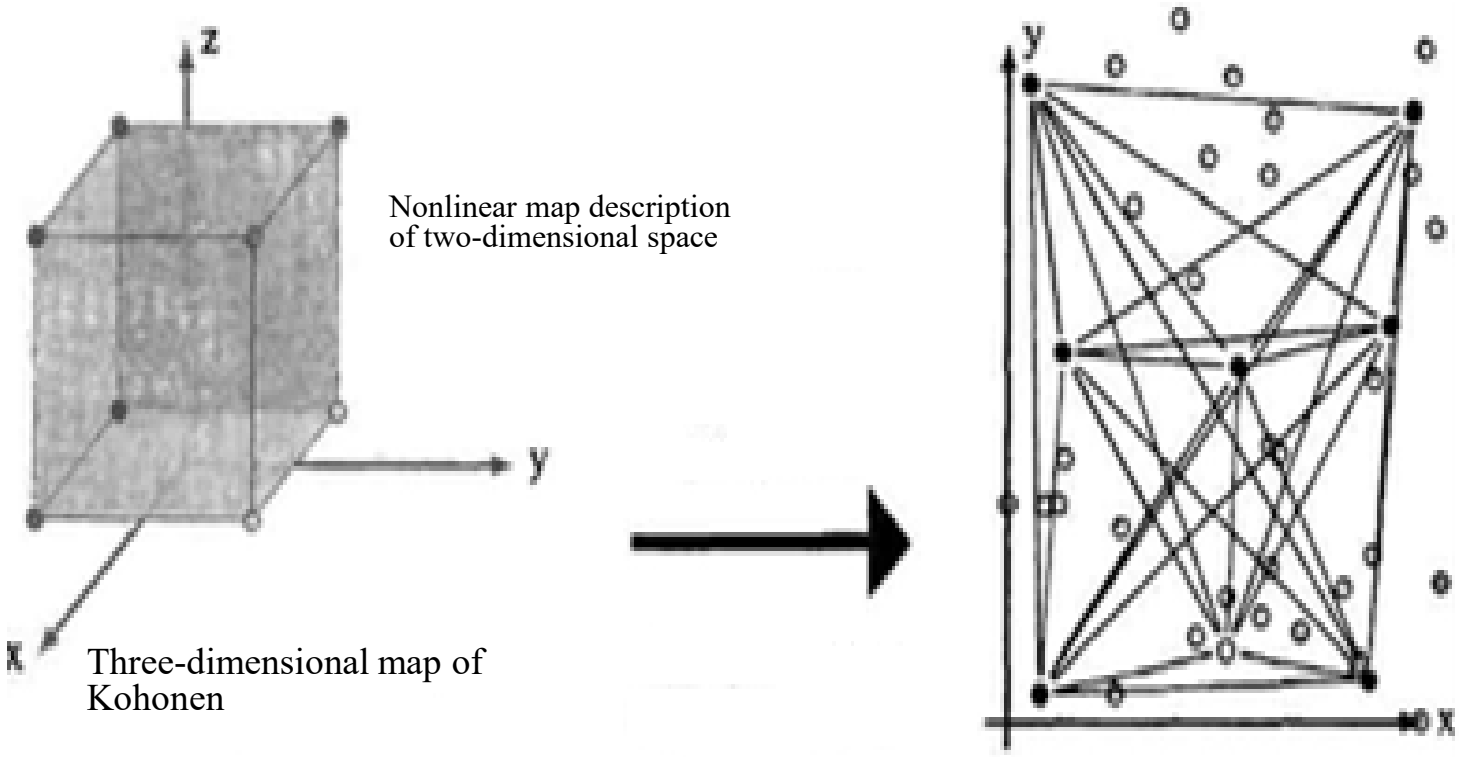
- classification of spectral brightness vectors of image pixels Busing a multidimensional Kohonen neural map;
- clustering of an image $B$to produce multiple $Q = \{q\}$clusters.
- Each cluster q is a closed set of pixels from B, assigned to the same class.
- The clustering algorithm consists of line-by-line scanning B, classification of each pixel and gradual growth of the resulting clusters;
- filtering of the selected clusters with the formation of a set of selected images at the output H. For each cluster, qa quantitative assessment of the cluster's usefulness for further combination is calculated $quality$, with the help of which a set of Himages (5) selected in the image is formed:
- $H = \{q|quality(q) \geq T_{quality}\}; \quad H_{quality} \in [0; 1]$,(6)
- where is $T_{quality}$the threshold value that determines the minimum cluster utility score q at which the cluster will be included in the set H of selected images. The value $T_{quality}$is one of the adjustable parameters of the matching algorithm. $quality$The following requirements are imposed on K:
- the estimate must be defined everywhere on and continuous throughout the entire domain of definition;
- the range of values of the estimate is the range [0; l];
- The value of the assessment should be greater, the higher the usefulness of the cluster $q$for further combination.
- as $quality$. Experimental studies have shown that the best estimate in terms of time costs and quality of the result is the one based on the calculation of the cluster area q:
- $quality\ (q) = \frac{sqrt(|q|)}{\alpha}; \qquad \alpha = IJ$, (7)
- where α is the normalization coefficient equal to the number of pixels in the image B(i.e. equal to the area of the image B, expressed in pixels).

The algorithm for classifying image pixels B using a multidimensional Kohonen neural map consists of the following steps:

- 1) initialization of the neural map - selection of parameters, initialization of v'_ω neuron weight vectors;
- 2) self-organization of the map on the set $B \subset V$;
- 3) running the map for each pixel $b \in B$, assigning the pixel to one of the acceptable classes V'_ω.

- The principle of operation of the multidimensional Kohonen neural map is illustrated in Fig. 2.
- In Fig. 2, a three-dimensional map describes a two-dimensional vector space in accordance with its statistical characteristics. The discrepancy in dimensionality (a map of a higher dimensionality describes a space of a lower dimensionality) allows for nonlinearity of description, which has a positive effect on the quality of the classification performed and, accordingly, on the quality of space segmentation.

FIGURE 2. Segmentation of two-dimensional space using three-dimensional Kohonen map



RESULTS

- The algorithm was tested on various types of images, photographs taken under different lighting conditions and with different viewing angles. The experiments showed high efficiency of the proposed approach.
- When using SIFT and SURF algorithms for feature extraction, the algorithm demonstrated high accuracy of image alignment, even with significant differences in scale and orientation. On average, the deviation of matching points after transformations remained within 1-2 pixels, indicating high accuracy of superposition.
- The algorithm demonstrated robustness to distortions such as scale, rotation, and lighting changes. The use of affine and projective transformation methods in combination with RANSAC allowed us to effectively eliminate outliers and find accurate transformation parameters.
- One of the key factors affecting performance was the complexity of keypoint matching. For small images, the algorithm showed acceptable processing time, but with increasing image resolution and the number of keypoints, the speed of operation decreased. Using accelerated search algorithms, such as FLANN, helped to partially solve this problem.

RESULTS

- The results of the study showed that the proposed algorithm can effectively solve the problem of combining heterogeneous images using keypoint search and matching methods. However, as with any algorithm, there are limitations. One of the problems is the decrease in performance when working with very high-resolution images or with a large number of details, which requires additional optimization methods.
- In addition, challenging cases where the image contains few distinct features (e.g., uniform surfaces or textures) require further improvements, possibly using deep learning techniques to improve feature extraction. The introduction of machine learning techniques such as convolutional neural networks (CNN) can improve the accuracy of feature extraction and make the algorithm more robust to challenging cases.
- Thus, the proposed algorithm shows significant potential for application in various fields requiring accurate image registration and can serve as a basis for further research and development in this area.

Сравнительный анализ современных методов обнаружения аномалий в сетевом трафике с использованием алгоритмов машинного обучения без учителя

Афанасьева Александра Валентиновна, старший преподаватель каф. №33, ГУАП
Марковский Евгений Станиславович, студент гр. 3132, ГУАП
Никифоров Максим Романович, студент гр. 3136, ГУАП
Федоров Сергей Денисович, студент гр. 3136, ГУАП

Введение

В современном мире с развитием технологий объем и сложность сетевого трафика стремительно растут. Одной из основных задач становится выявление аномалий в сетевом трафике, которые могут свидетельствовать о сбоях, атаках и других проблемах.

Традиционные методы анализа сетевого трафика, основанные на сигнатурах и правилах, обладают рядом существенных недостатков:

1. Не могут обнаруживать ранее неизвестные атаки.
2. Часто страдают от ложноположительных срабатываний.
3. Не всегда способны эффективно работать в условиях динамически меняющихся сетей.

В последние годы на смену традиционным подходам приходят методы машинного обучения, которые не требуют предварительных сигнатур, что делает их более универсальными при появлении новых типов угроз.

Основные понятия и определения

Завалишинские чтения

Аномалии в сетевом трафике — это отклонения от нормального или ожидаемого поведения сетевых данных, которые могут свидетельствовать о наличии угроз или сбоях в работе системы. При анализе трафика необходимо выявлять аномальные события, такие как кибератаки, сбои в работе оборудования или несанкционированное использование ресурсов.

Машинное обучение эффективно справляется с обнаружением аномалий в сетевом трафике за счет анализа больших объемов данных и выявления скрытых закономерностей. Для решения таких задач применяются следующие подходы обучения:

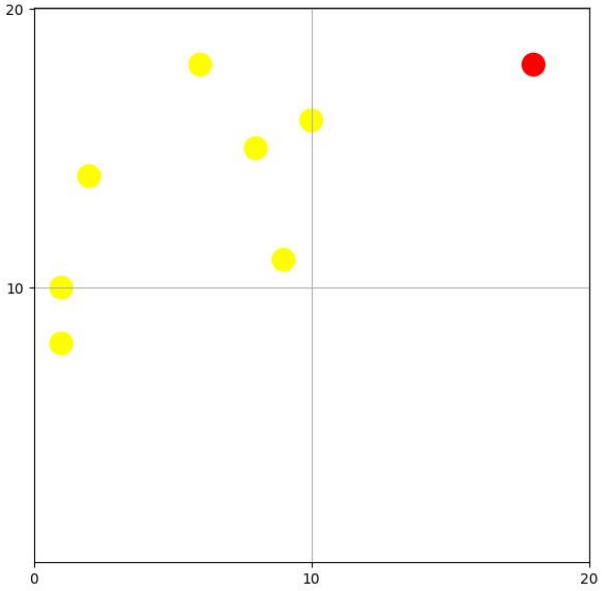
- обучение с учителем;
- обучение без учителя;
- обучения с подкреплением.

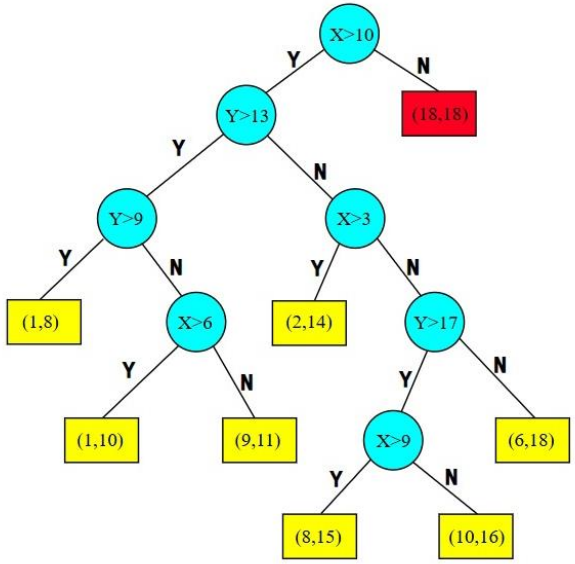
Isolation forest

Завалишинские чтения

Процесс работы алгоритма *Isolation forest* выглядит следующим образом:

1) создание множества случайных деревьев, где каждое дерево строится путем случайного выбора признаков и разбиения данных вдоль этих признаков;
2) объекты изолируются в деревьях, аномальные точки изолируются быстрее;
3) для каждого объекта вычисляется средняя глубина его изоляции по всем деревьям, и объекты с низкой глубиной изоляции считаются аномальными.



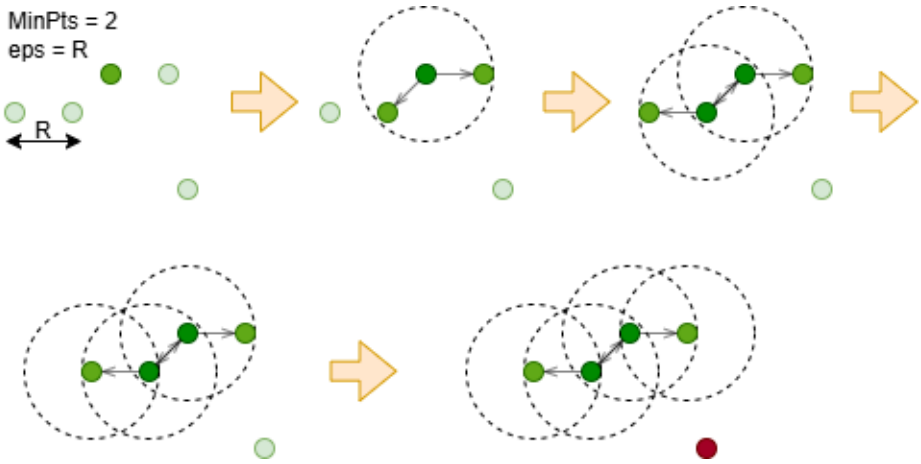


DBSCAN

Завалишинские чтения

DBSCAN — это метод кластеризации, основанный на плотности данных, который эффективно выявляет кластеры произвольной формы и способен обнаруживать шум в данных. Данный метод имеет следующий алгоритм выявления аномалии:

1) задаются параметры ε (радиус окружности) и *MinPts* (минимальное количество точек);
2) все точки, которые находятся в области радиуса ε и имеют хотя бы *MinPts* соседей, считаются ядрами кластера;
3) точки, которые не принадлежат ни одному кластеру, считаются аномалиями (шумом).

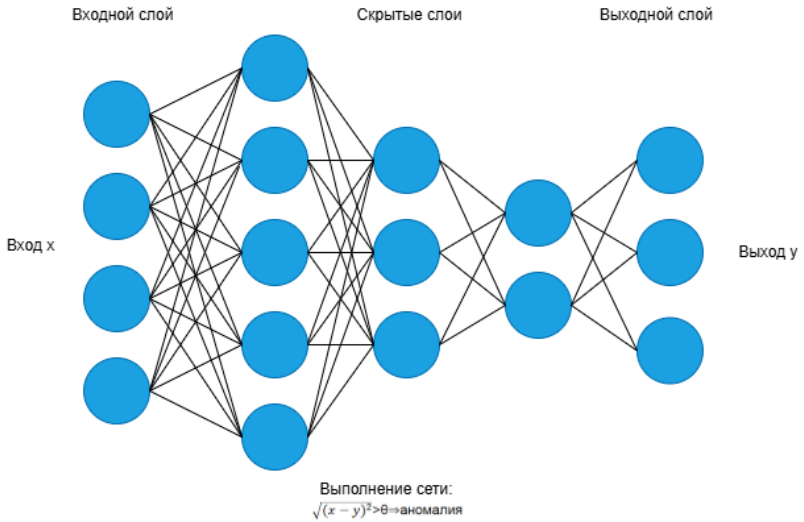


Autoencoder

Завалишинские чтения

Autoencoder — это тип нейронной сети, который учится реконструировать входные данные, сжимая их до скрытого представления и восстанавливая из этого сжатого представления.
Алгоритм работы *Autoencoder* выглядит следующим образом:

1) автоэнкодер обучается восстанавливать исходные данные, минимизируя разницу между входом и выходом;
2) кодер уменьшает размерность данных, создавая скрытое представление, а декодер восстанавливает данные из него;
3) для каждого объекта вычисляется ошибка реконструкции, сравнивая входные и восстановленные данные;
4) объекты с высокой ошибкой реконструкции считаются аномалиями.



Сравнение алгоритмов обнаружения аномалий

Завалишинские чтения

Критерий	Isolation forest	DBSCAN	Autoencoder
Работает с высокоразмерными данными	Да	Нет	Да
Требует задания числа кластеров	Нет	Нет	Нет
Эффективен для данных с шумом	Да	Да	Да
Требует большого объема данных	Нет	Нет	Да
Высокая вычислительная сложность	Нет	Да	Нет
Работает с плотными кластерами	Нет	Да	Нет
Обучается на малых данных	Да	Нет	Нет

Итог

Завалишинские чтения

Рассмотрены алгоритмы *Isolation forest*, *DBSCAN* и *Autoencoder*, выявлены их ключевые особенности, преимущества и недостатки.

Ни один из методов не является универсальным решением для задач обнаружения аномалий. Выбор подходящего алгоритма зависит от характера данных, доступных ресурсов и требований конкретной задачи.

В некоторых случаях может быть использовано комбинирование методов для повышения точности и устойчивости результатов, однако это требует дополнительных вычислительных ресурсов.

Использование машинного обучения без учителя открывает широкие возможности для анализа сетевого трафика и выявления скрытых угроз, особенно в динамичных сетях с высокой степенью изменчивости.

Спасибо за внимание!

Завалишинские чтения

Применение мел-кепстральных коэффициентов для анализа голоса в системах идентификации

Коломойцев Владимир Сергеевич, к.т.н, доцент каф.№33, ГУАП
Коробкин Кирилл Максимович, студент группы 3132, ГУАП
Чирков Глеб Вячеславович, студент группы 3132, ГУАП

Актуальность и область применения

- Голос — уникальный биометрический признак
- Применяется в системах безопасности, онлайн-банкинге, правоприменительной практике

Актуальные проблемы:

- Влияние шумов
- Качество записи
- Индивидуальные особенности произношения

Проблематика и выбор подхода

Идентификация личности по голосу осложняется вариативностью речи и качеством записи. Существуют два подхода:

- дикторозависимый
- текстонезависимый

Был выбран дикторозависимый метод с применением мел-кепстральных коэффициентов (MFCC) — он позволяет извлекать уникальные спектральные характеристики голоса. Несмотря на существующие наработки, точность метода страдает от шумов и различий в произношении. Цель исследования — повышение эффективности MFCC-анализа для точной голосовой идентификации.

Предобработка голосового сигнала

Цель: подготовить сигнал к анализу, повысить качество и достоверность результатов.

Основные этапы:

Нормализация сигнала — приведение амплитуды к диапазону [-1, 1].

Удаление тишины — с помощью порогового значения амплитуды, исключение неинформативных участков.

Преобразование Фурье — анализ частотных характеристик сигнала.

Оконная фильтрация — выделение активных участков.

Извлечение признаков с помощью MFCC

Этапы построения MFCC:

1. Построение гребенки треугольных фильтров в мел-шкале.
2. Применение фильтров к каждому окну сигнала.
3. Расчет энергии в частотных полосах.
4. Дискретное косинусное преобразование (DCT-II) для получения MFCC.
5. Использование первых 17 коэффициентов для идентификации.

Методы сравнения голосов

Для сравнения двух голосовых сигналов и определения их схожести применяются методы:

- Евклидово расстояние — абсолютная мера различия в MFCC.
- Корреляция Пирсона — степень линейной зависимости между наборами MFCC.

Важны оба метода: Евклидово расстояние — чувствительно к абсолютным различиям. Корреляция Пирсона — устойчива к масштабу и смещению.

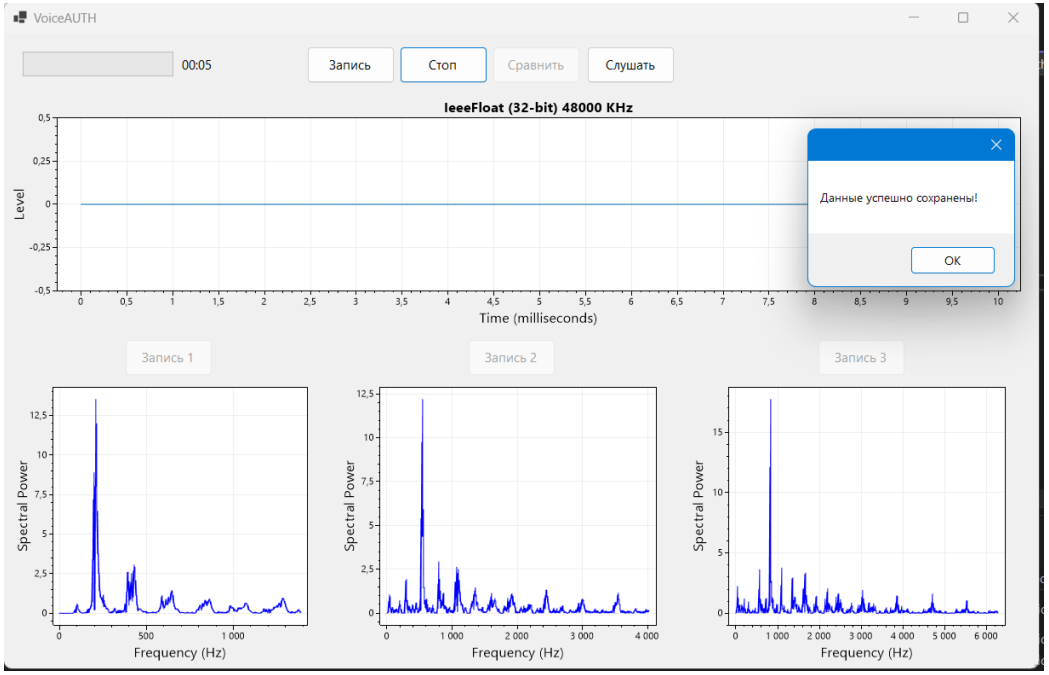
✓ Комплексный анализ повышает точность идентификации личности по голосу.

Применение при реализации программного прототипа

Система протестирована в двух режимах:

- Без нормализации и фильтрации
- С применением нормализации и удаления шумов

Метод нормализации показал значительное улучшение результатов.



Заключение

- Проведён анализ современных методов обработки и анализа аудиосигналов.
- Разработан подход, включающий нормализацию сигнала и удаление малозначимых фрагментов, повышающий качество идентификации.
- Метод позволяет формировать компактное и информативное представление голосового сигнала.
- Применение мел-кепстральных коэффициентов (MFCC) показало высокую эффективность при идентификации личности независимо от произносимого текста.
- Экспериментально подтверждено повышение точности распознавания.

Спасибо за внимание!

Завалишинские чтения

Методы повышения стойкости киберсистем к атакам на основе искусственного интеллекта.

Кудряшов Александр Евгеньевич, студент группы 3132, ГУАП
Татжиков Данил Алексеевич, студент группы 3132, ГУАП
Коломойцев Владимир Сергеевич, к.т.н, доцент каф.№33, ГУАП

Методы повышения стойкости киберсистем к атакам на основе ИИ.

Завалишинские чтения

А.Е. Кудряшов, Д.А. Татжиков, В.С. Коломойцев,
ГУАП

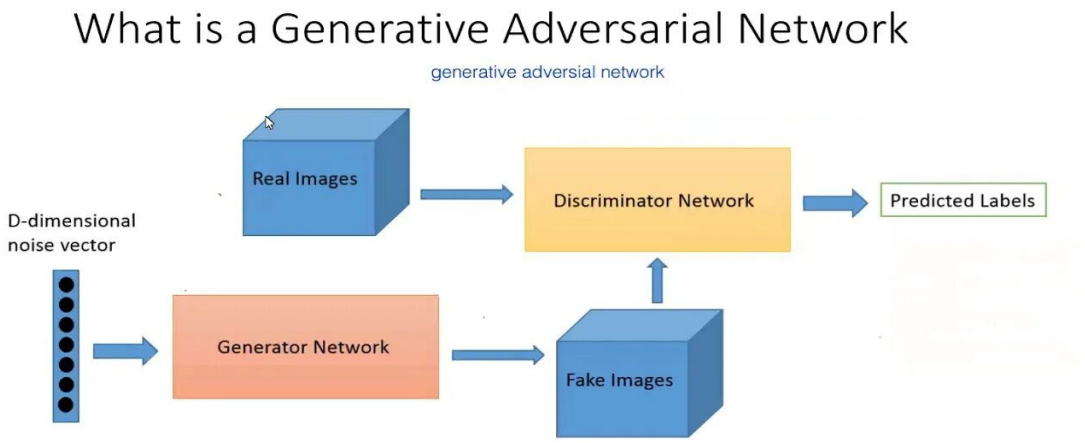
Современные киберсистемы сталкиваются с новым типом угроз — интеллектуальными атаками, основанными на применении искусственного интеллекта.

Традиционные методы защиты зачастую оказываются неэффективными против адаптивных и ранее неизвестных атак.

Объединение криптографии и искусственного интеллекта позволяет создать самообучающиеся и адаптивные схемы защиты, способные реагировать на неизвестные угрозы в реальном времени.

Основные подходы и методы на основе искусственного интеллекта

1. Генерация криптографических ключей с высокой степенью энтропии
2. Обфускация данных
3. Адаптивное шифрование
4. Квантовая стойкость
5. Превентивное обнаружение угроз
6. Шифрование на основе генеративных состязательных сетей (GAN)



Генерация криптографических ключей с высокой энтропией

Использование нейросетевых моделей для создания криптографических ключей, отличающихся высокой степенью случайности (энтропии).

Принцип работы:
Нейросеть обучается на больших массивах случайных и специально подготовленных данных.
В результате обучения формируются уникальные и непредсказуемые ключи, адаптирующиеся под конкретную задачу и тип информации.
Ключи динамически меняются для каждого нового сеанса, минимизируя риск их повторного использования и подбора.

Обфускация данных с использованием автоэнкодеров

Принцип работы:

Исходные поступают на вход автоэнкодера.

Автоэнкодер преобразует исходную информацию в компактное и скрытое представление, понятное только обученному декодеру.

Полученные данные передаются по открытому каналу связи и не могут быть прочитаны злоумышленником без специального декодера и обученных весов нейросети.

Адаптивное шифрование с использованием нейросетей

Интеллектуальный подход, при котором нейросеть самостоятельно выбирает оптимальный алгоритм шифрования и его параметры в зависимости от типа и характера обрабатываемой информации.

Принцип работы:
Нейросеть анализирует входные данные (текст, мультимедиа, файлы), выявляя их ключевые характеристики.
На основании анализа выбирается наиболее эффективный алгоритм шифрования и подходящий уровень его сложности.
В процессе работы нейросеть адаптирует алгоритмы, оптимизируя их производительность и защищённость.

Квантовая стойкость нейросетевых решений

Нейросети способны формировать многомерные, нелинейные преобразования данных.
Это позволяет создавать принципиально новые криптографические системы, устойчивые к перспективным квантовым атакам.
Принцип реализации:
Обучение нейросети создавать такие схемы шифрования, в которых нет четких математических закономерностей, доступных для квантового анализа.
Использование нейросетей для генерации динамических ключей и алгоритмов шифрования, изменяющихся при каждом сеансе.

Превентивное обнаружение угроз с помощью нейросетей

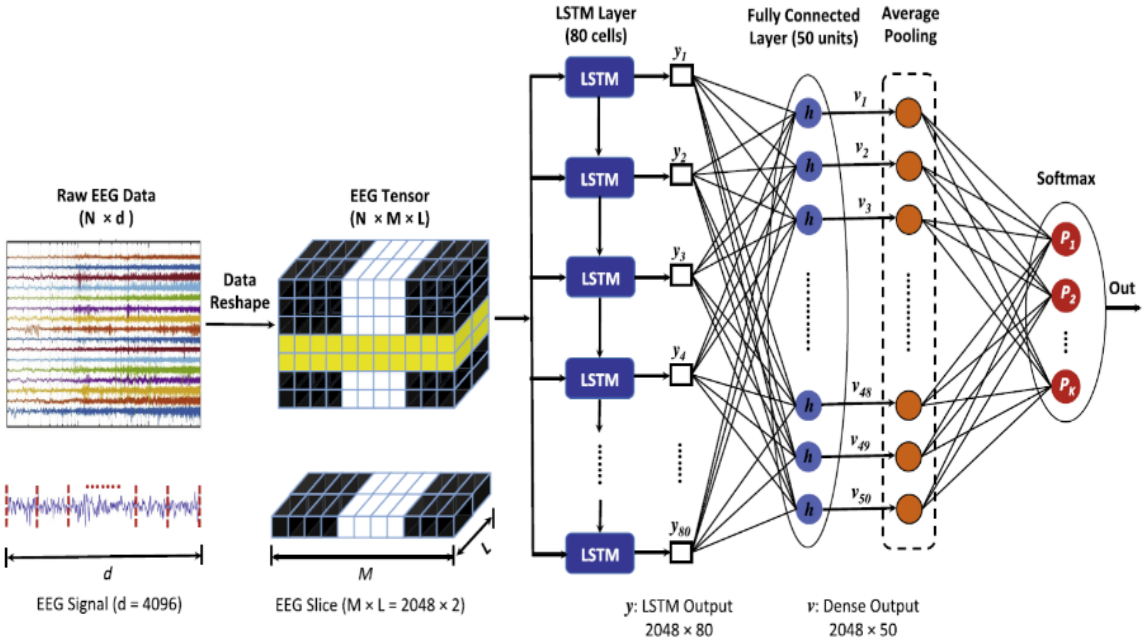
Использование нейросетевых алгоритмов для анализа сетевого трафика и выявления угроз информационной безопасности в режиме реального времени.
Принцип работы:
Нейросеть непрерывно анализирует потоки данных (сетевой трафик, метаданные, поведение пользователей).
Модель выявляет подозрительные и нетипичные паттерны, указывающие на возможную атаку.
Система автоматически реагирует на угрозу до того, как будет нанесён реальный ущерб.

Шифрование на основе генеративных состязательных сетей (GAN)

В контексте шифрования данных GAN позволяют создавать самоадаптирующиеся криптографические схемы с высокой устойчивостью к атакам.
Принцип работы:
Генератор преобразует исходные данные в зашифрованную форму, стремясь сделать их нераспознаваемыми.
Дискриминатор пытается расшифровать или отличить зашифрованные данные от исходных, совершенствуя свои алгоритмы декодирования.
В процессе состязательного обучения обе сети постоянно улучшаются, повышая сложность и устойчивость системы шифрования

Экспериментальная реализация GAN для шифрования данных (GAN + LSTM)

Цель эксперимента: Проверить возможность применения генеративных состязательных сетей (GAN) с использованием архитектуры LSTM для реализации эффективного и устойчивого к атакам механизма шифрования текстовых данных.



Экспериментальная реализация GAN для шифрования данных (GAN + LSTM)

Генератор (LSTM) преобразует случайный шум в осмысленный, но зашифрованный текст.
Дискриминатор пытается отличить этот сгенерированный текст от реальных данных, улучшая свою способность к декодированию.
Подтверждена гипотеза:
GAN, построенные на основе нейросети LSTM, действительно способны создавать динамическое и труднодекодируемое шифрование.
В процессе обучения генератор научился создавать текст, максимально приближенный к оригинальному, при этом дискриминатору стало гораздо сложнее его правильно расшифровать.

Тип данных	Пример вывода модели
Реальный текст	hello world
Сгенерированный текст (начало обучения)	hlelo owrlddd
Сгенерированный текст (после обучения)	hello worrlld

Заключение

- Современные угрозы требуют новых методов защиты, так как традиционные подходы становятся неэффективными перед лицом атак на основе искусственного интеллекта.
- Показана обоснованность применение нейросетей для создания высокоэнтропийных криптографических ключей, обфускации данных и адаптивного шифрования.
- Продемонстрирована возможность использования нейросетевых алгоритмов на основе генеративных состязательных сетей (GAN).
- Недостатки методов включают сложность внедрения, а также высокие затраты на обучение моделей.
- GAN+LSTM — это перспективное решение для создания адаптивного, интеллектуального и устойчивого к атакам шифрования, которое превосходит традиционные подходы своей гибкостью и возможностью самообучения.

Спасибо за внимание!

Адаптивные алгоритмы обучения для динамически изменяющихся данных

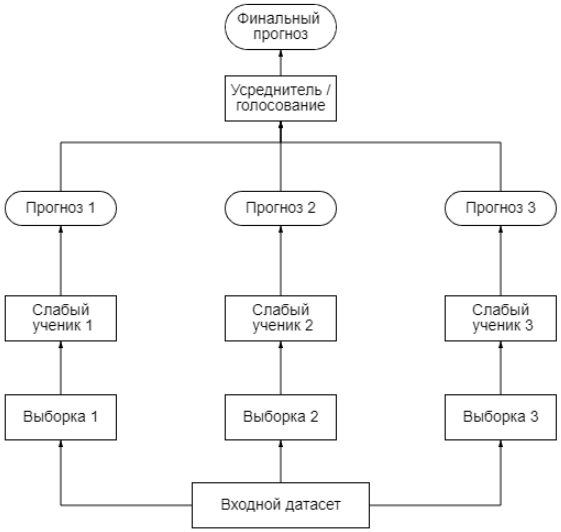
Завалишинские чтения

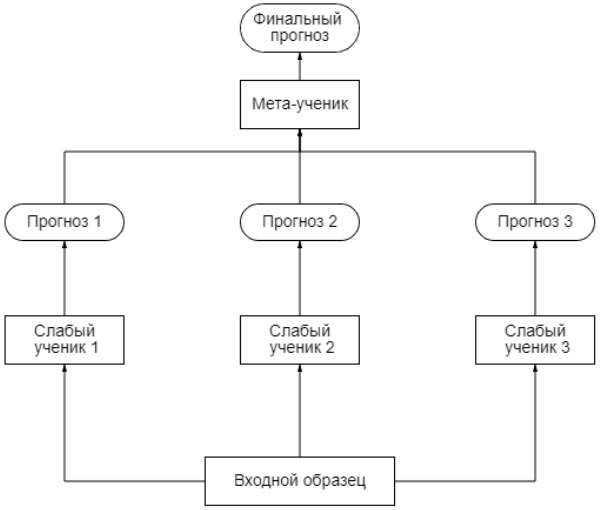
Авторы: Д. Г. Левченко
аспирант
Ю. А. Ганьшин
кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения

Адаптивные алгоритмы

Представляют собой подходы в машинном обучении, которые способны изменять и адаптироваться к меняющимся условиям или данным. Эти модели могут автоматически корректировать свои параметры или стратегии обучения в ответ на новую информацию, что делает их полезными в таких областях, как искусственный интеллект, анализ данных, прогнозирование и обработка естественного языка.

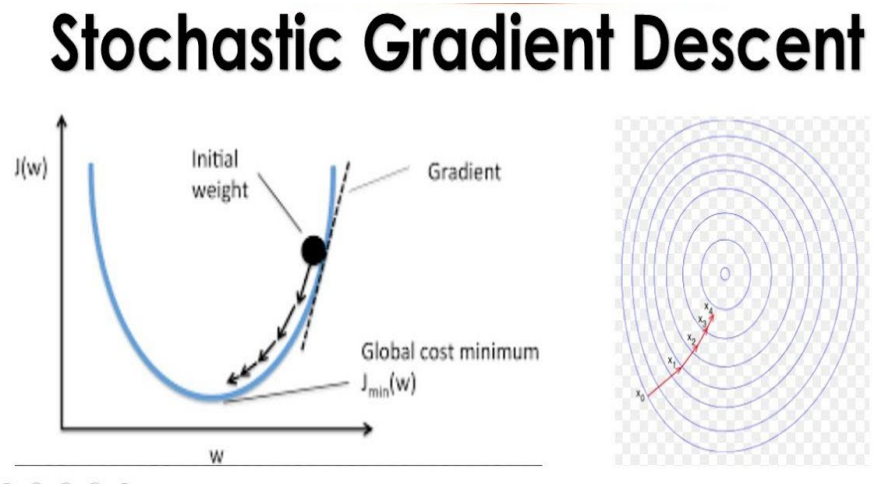




Онлайн-обучение (SGDClassifier)

SGDClassifier (Stochastic Gradient Descent Classifier) — это классификатор, который использует стохастический градиентный спуск для оптимизации модели. Он предназначен для работы с большими данными и может обучаться на потоках данных, что делает его идеальным для задач онлайн-обучения.

Модель обновляется с каждым новым примером, что позволяет эффективно работать с большими объемами данных в реальном времени.



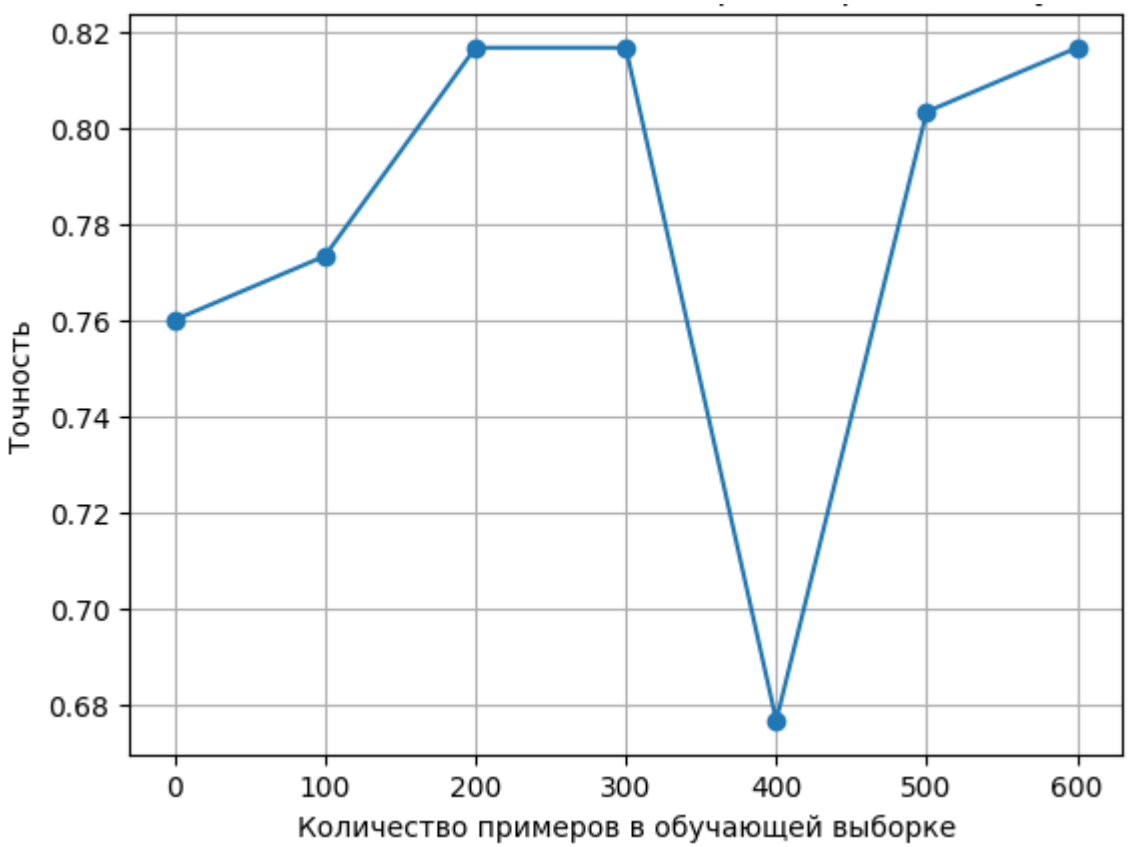


График точности модели на тестовой выборке в процессе обучения при помощи метода Онлайн-обучения (SGDClassifier)

Преимущества SGDClassifier:

- Подходит для задач, где данные поступают постепенно (например, в потоках).
- Эффективен при работе с большими данными и высокоразмерными признаками.
- Поддерживает регуляризацию, что помогает избежать переобучения.

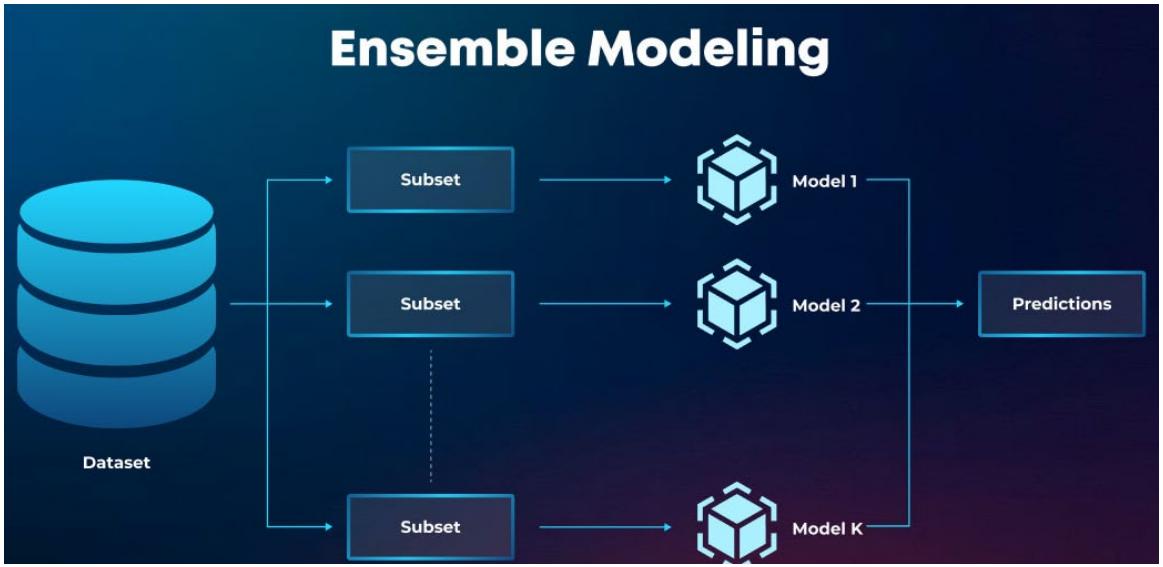
Недостатки SGDClassifier:

- Не всегда находит глобальный минимум, так как использует стохастический метод.
- Могут возникать проблемы с настройкой гиперпараметров (например, learning rate).
- Работает только с линейными моделями или моделями, которые могут быть аппроксимированы линейно.

Ансамблевый метод (Dynamic Weighted Ensemble)

Ансамблевые методы объединяют несколько слабых классификаторов для создания более точной и устойчивой модели. В случае Dynamic Weighted Ensemble веса каждого классификатора изменяются динамически в процессе обучения, чтобы адаптироваться к изменениям в данных.

Этот метод используется для повышения точности и уменьшения риска переобучения, комбинируя выводы нескольких моделей.



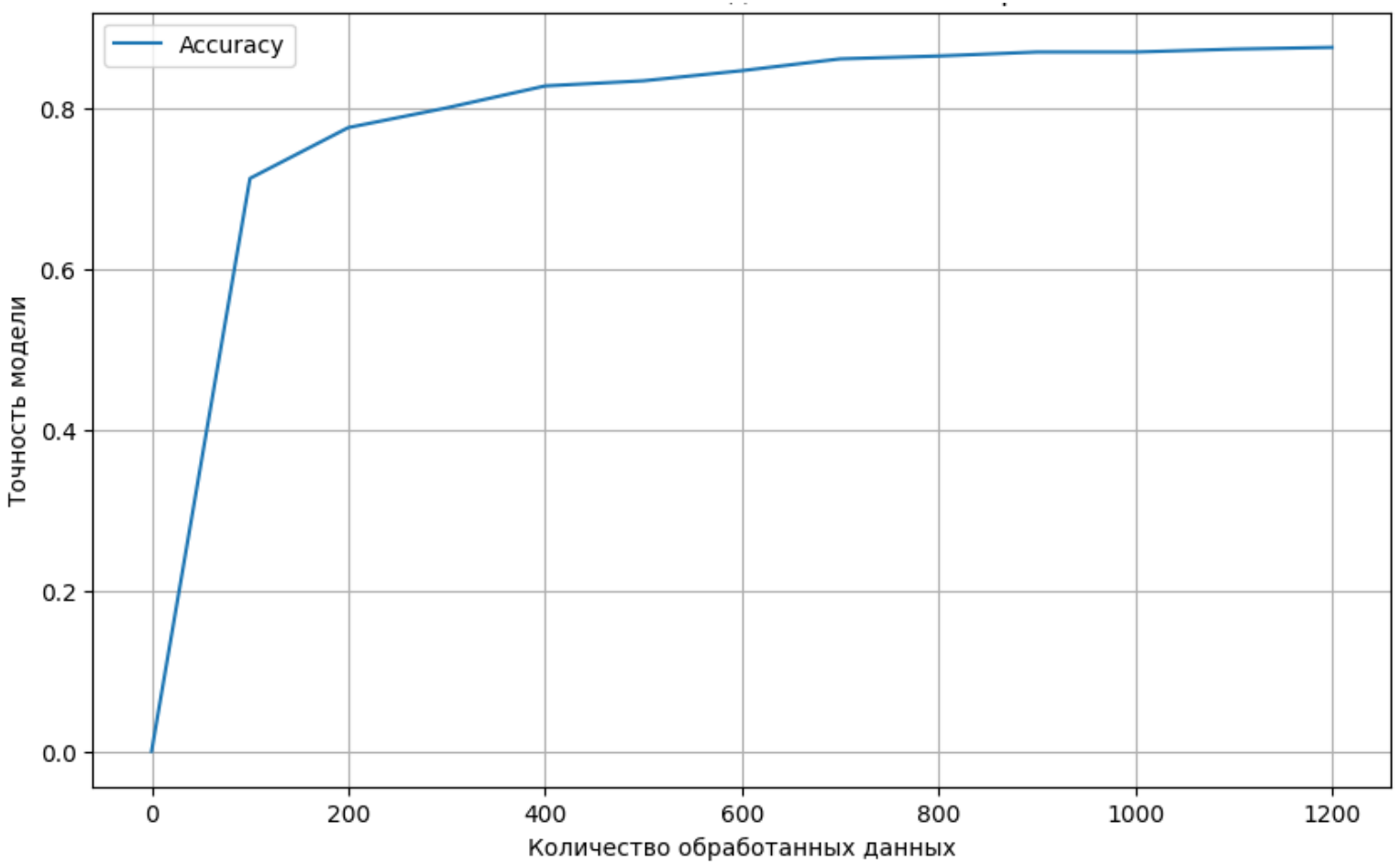


График изменения точности модели с течением времени при помощи ансамблевого метода

Преимущества Dynamic Weighted Ensemble:

- Объединение множества моделей часто дает более точный и стабильный результат.
- Веса классификаторов адаптируются к изменяющимся данным, что позволяет лучше справляться с нестационарностью.
- Может улучшить точность, если отдельные модели имеют разные сильные стороны.

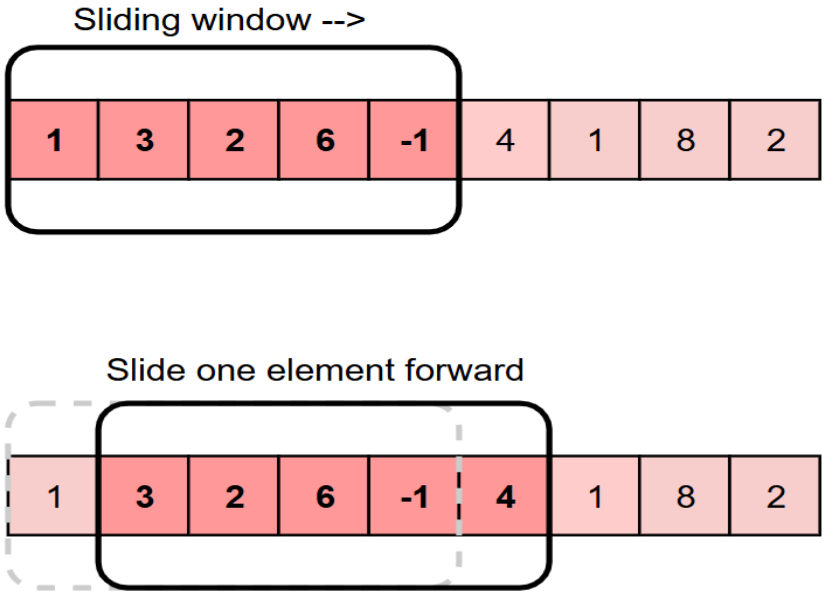
Недостатки Dynamic Weighted Ensemble:

- Более сложен в реализации и требует больше вычислительных ресурсов.
- Может быть чувствителен к выбору базовых классификаторов и методу взвешивания.
- Потребуется больше времени на обучение по сравнению с одиночными моделями.

Метод со скользящим окном (Sliding Window Regression)

Метод со скользящим окном используется в основном для регрессионных задач, где данные обновляются с течением времени. Суть метода заключается в том, чтобы на каждом шаге рассматривать только последние n данных (окно), что позволяет адаптировать модель к новым данным.

Это полезно для задач, где важно учитывать только последние наблюдения, например, в прогнозировании временных рядов.
В методе со скользящим окном для регрессии используется окно фиксированного размера



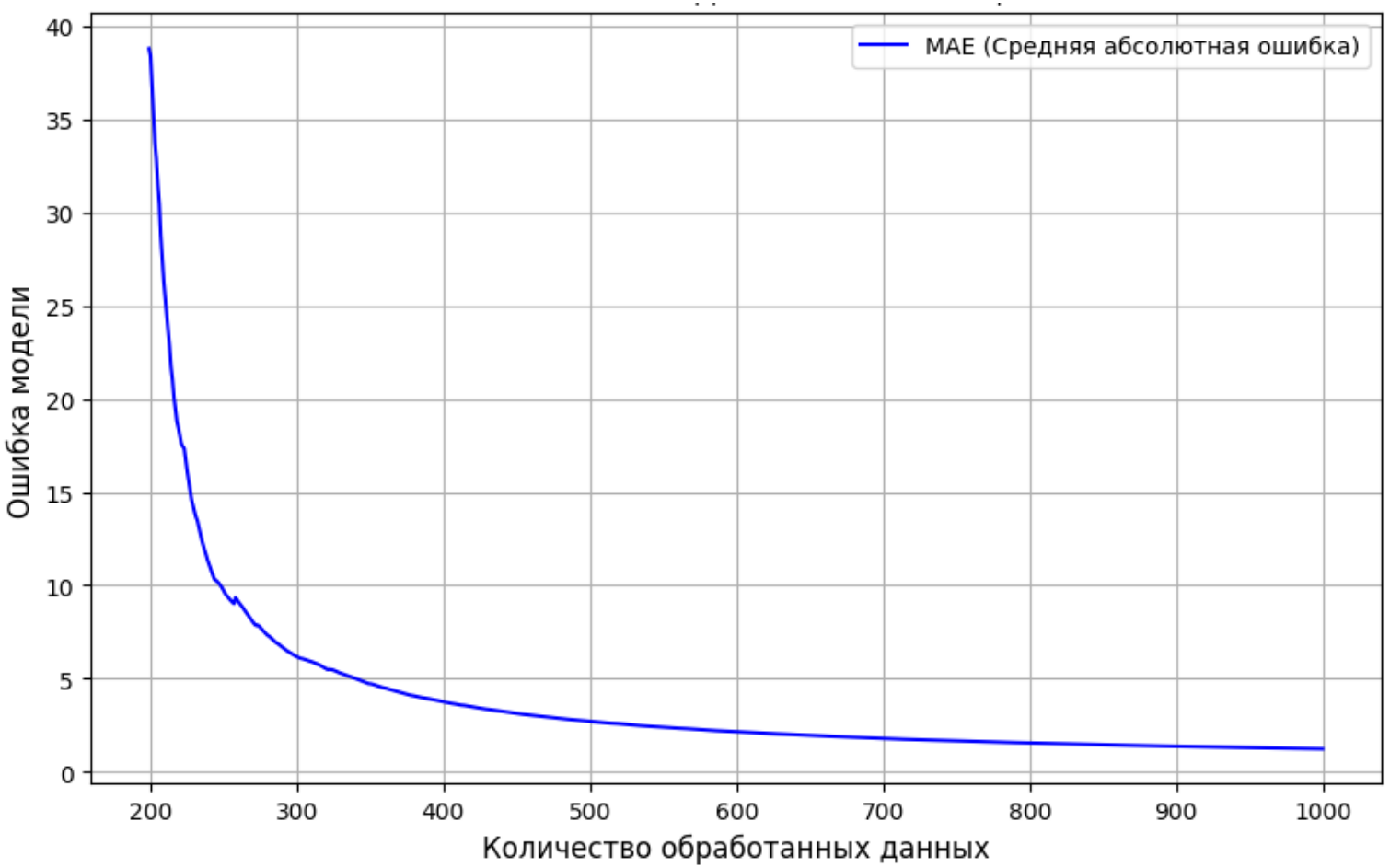


График изменения ошибки модели с помощью метода со скользящим окном

Преимущества Sliding Window Regression:

- Хорошо работает в условиях изменяющихся данных, например, при прогнозировании временных рядов.
- Обновление модели происходит быстро, так как она всегда использует только актуальные данные.
- Можно гибко настроить размер окна, что позволяет оптимизировать модель под различные задачи.

Недостатки Sliding Window Regression:

- Не всегда учитывает всю информацию, так как старые данные исключаются из окна.
- Может быть неэффективен при наличии долгосрочных зависимостей в данных.
- Для некоторых задач выбор оптимального размера окна может быть непростой задачей.

Сравнение методов в зависимости от задачи

Метод	Тип задачи	Преимущества	Недостатки
Онлайн-обучение (SGDClassifier)	Классификация	Эффективен для больших потоков данных, поддержка регуляризации, адаптивность	Может не найти глобальный минимум, только линейные модели
Ансамблевый метод (Dynamic Weighted Ensemble)	Классификация	Повышает точность, адаптация к изменяющимся данным, устойчивость	Более сложен, требует больше ресурсов, чувствителен к выбору классификаторов
Метод со скользящим окном (Sliding Window Regression)	Регрессия, временные ряды	Адаптируется к новым данным, быстрое обновление модели	Ограничение на старые данные, неэффективен при долгосрочных зависимостях

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Фаззинг тестирование и способы его улучшения

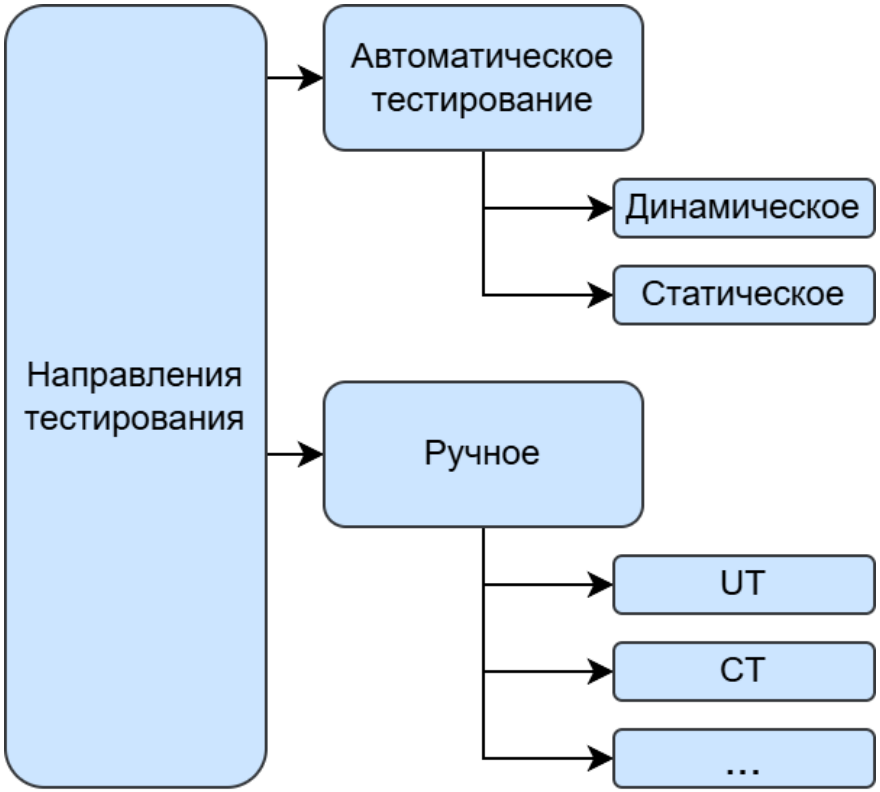
Завалишинские чтения

Авторы:
Г.А. Прохоров – студент
А.В. Афанасьева – старший преподаватель – научный руководитель

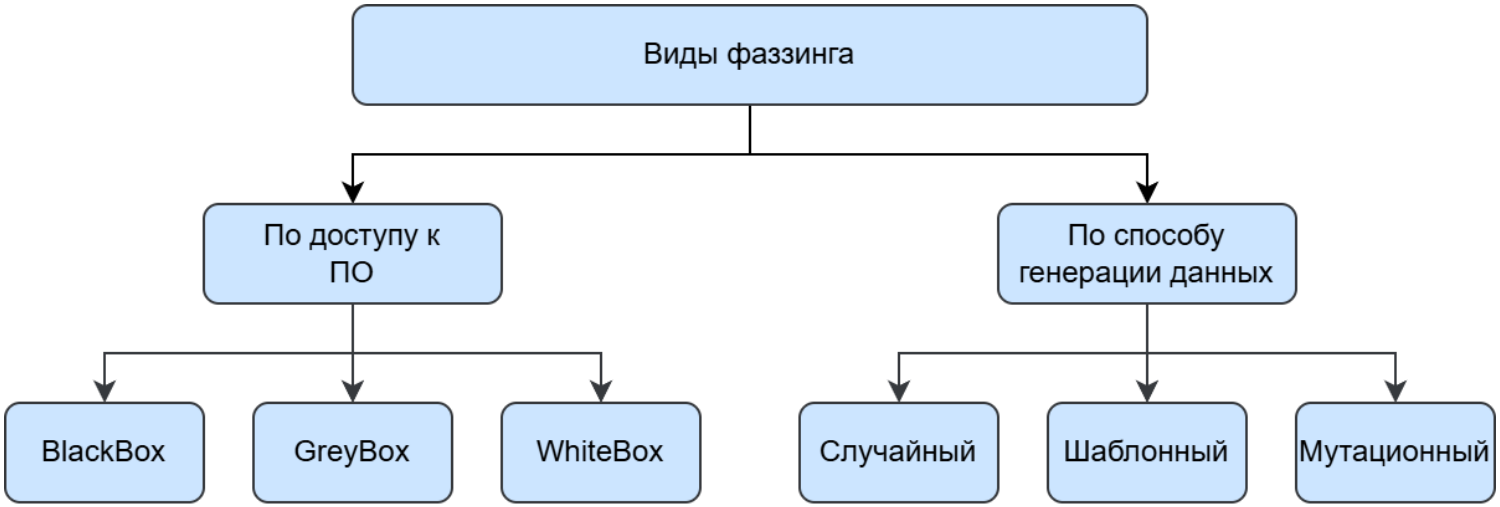
Организация:
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Вариант классификации основных направлений тестирования

- **Ручное тестирование** – написание тестов и проверка сценариев силами разработчиков;
- **Статическое тестирование** – автоматический анализ кода без выполнения программы;
- **Динамическое тестирование** – автоматический анализ приложения во время работы.



Виды систем динамического тестирования



- **BlackBox** – Отсутствие сведений о системе;
- **GreyBox** – Наличие обратной связи с системой;
- **WhiteBox** – Доступ к исходному коду системы.

- **Случайный алгоритм** – Полностью случайные данные;
- **Шаблонный алгоритм** – Случайные данные на основе шаблона;
- **Мутационный алгоритм**– Осознанный подход к генерации данных.

Сравнительная характеристика

Вид	Эффективность тестирования	Затрачиваемые ресурсы	Сложность интеграции	Анализ обратной связи	Анализ покрытия кода	Доступные виды генерации данных
WhiteBox	Наивысшая	Среднее число ресурсов	Необходимо внедрение дополнительных инструментов компиляции	+	+	Все
GreyBox	Хорошая	Среднее число ресурсов	Подключение к ПО через внешний **двусторонний** канал	+	-	Все
BlackBox	Низкая	Большое число ресурсов	Подключение к ПО через внешний канал	-	-	Случайный, шаблонный

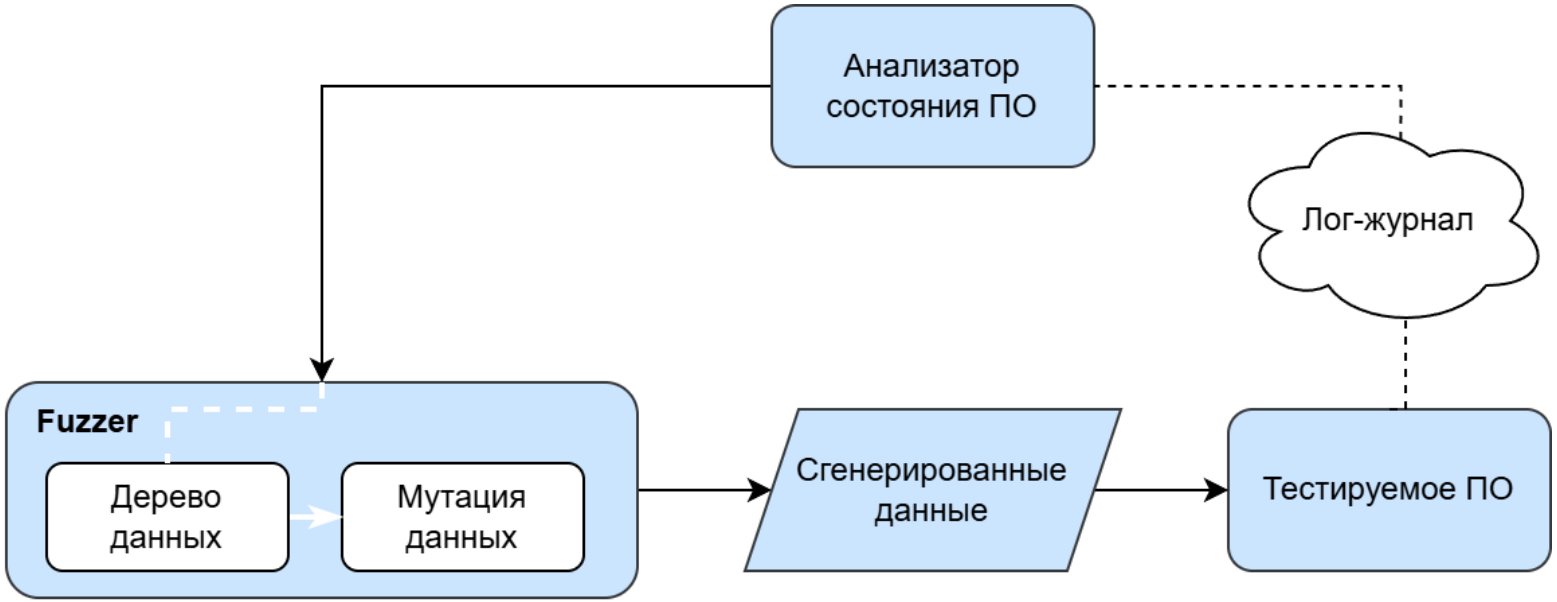
Почему GreyBox?

- **Универсальность** – Внедрение проще чем у WhiteBox инструментов;
- **Эффективность** – За счёт мутации данных, система легко обходит BlackBox инструменты.

Проблемы GreyBox фаззинга:

- **Шаблонность подхода** – не все программы поддерживают анализируемый сценарий;
- **Добавление ненужного функционала** – раздувание программного кода для ситуаций, которые на практике не используются;
- **Ограниченность** – не все состояния можно описать кодами ответа.

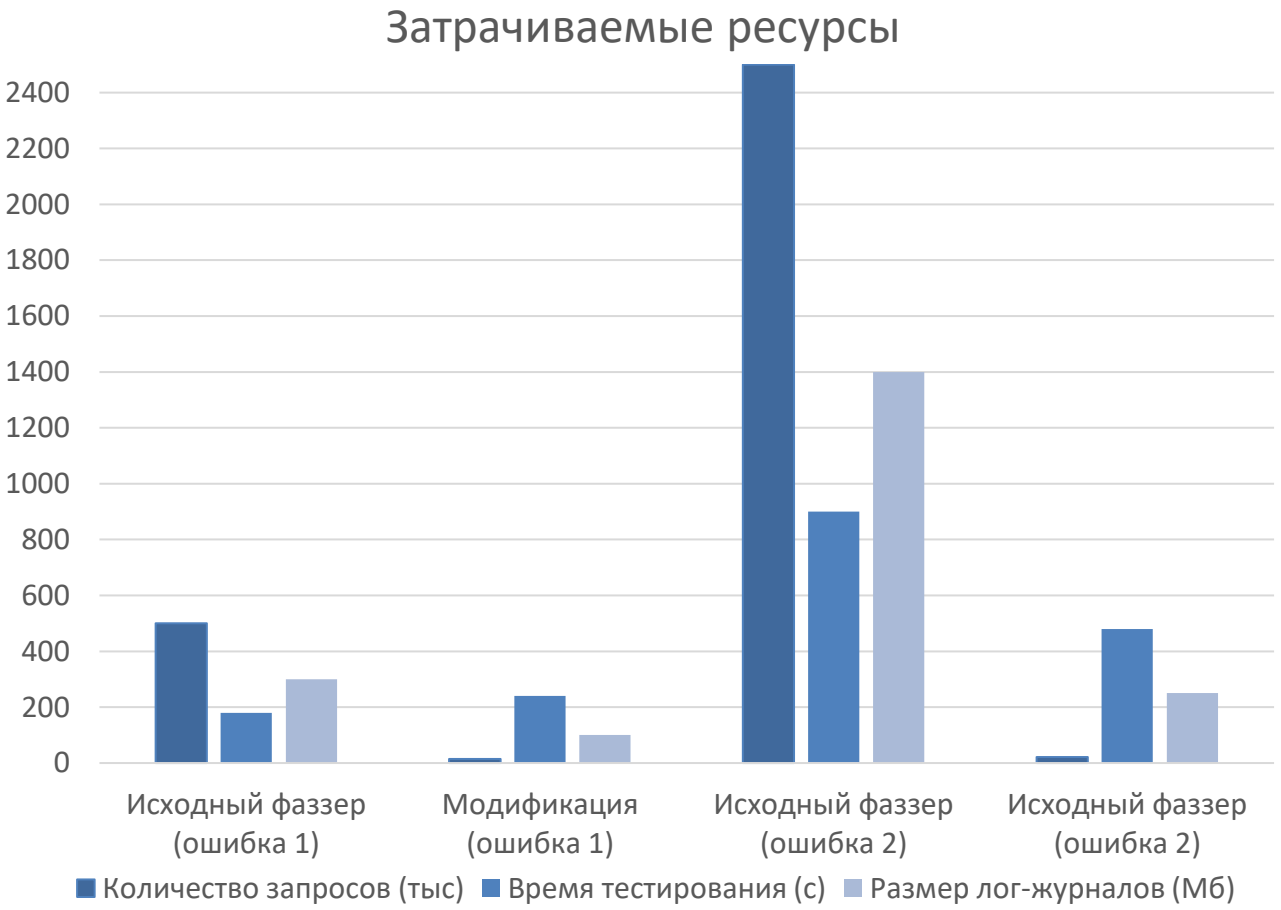
Вариант решения



Основные моменты:

- Использование открытого **фреймворка**;
- Создание **отдельного модуля** для анализа тестируемого ПО;
- **Интеграция** модуля в систему тестирования.

Результаты эксперимента:



Получилось достичь **значительного снижения** количества запросов, за счёт увеличения времени обработки одного сообщения.

Спасибо за внимание

Завалишинские чтения

Рындюк В. А. – к.т.н., доцент

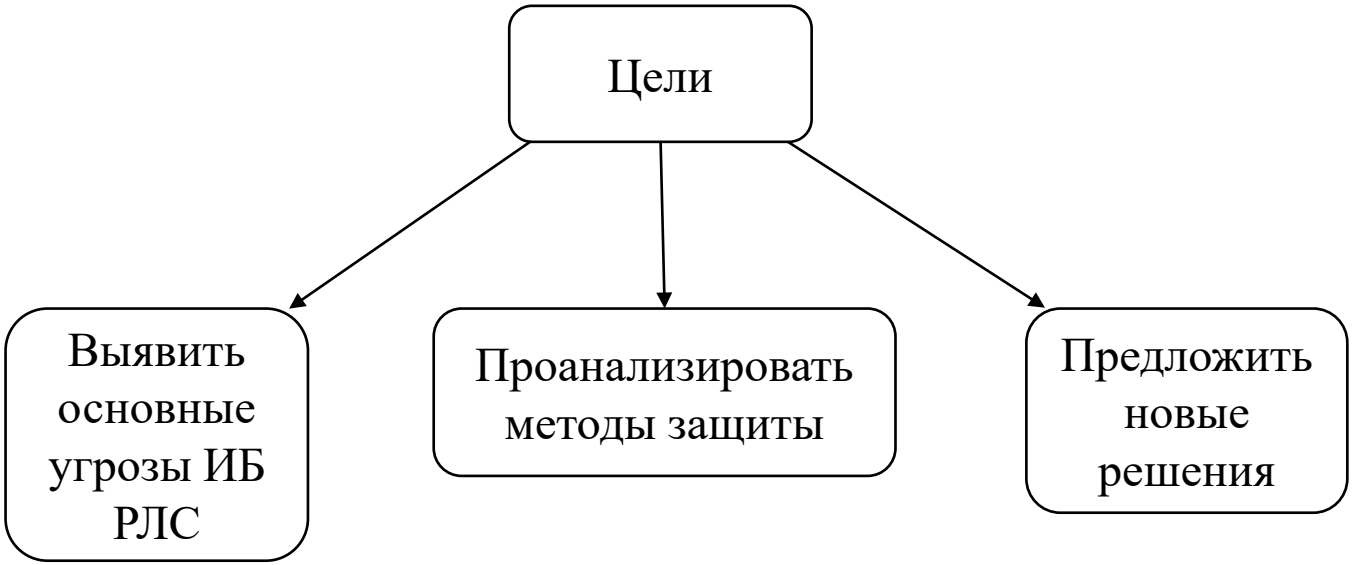
Колодязный Я. И. – студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Информационная безопасность радиолокационных станций. Современные угрозы и методы защиты.

Актуальность и цель.

Радиолокационные станции (РЛС) – ключевой элемент безопасности в авиации, обороне и навигации. Важной задачей является обеспечение станций необходимым уровнем защиты в условиях стремительно растущих угроз в информационной сфере.



Основные угрозы безопасности РЛС:

- Кибератаки на ПО (вредоносный код, сбои работы);
- Спуфинг — искажение радиосигналов;
- Перехват и анализ сигнала (утечка данных);
- Средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ) (помехи и подавление);
- Инсайдерские угрозы (утечка, саботаж).

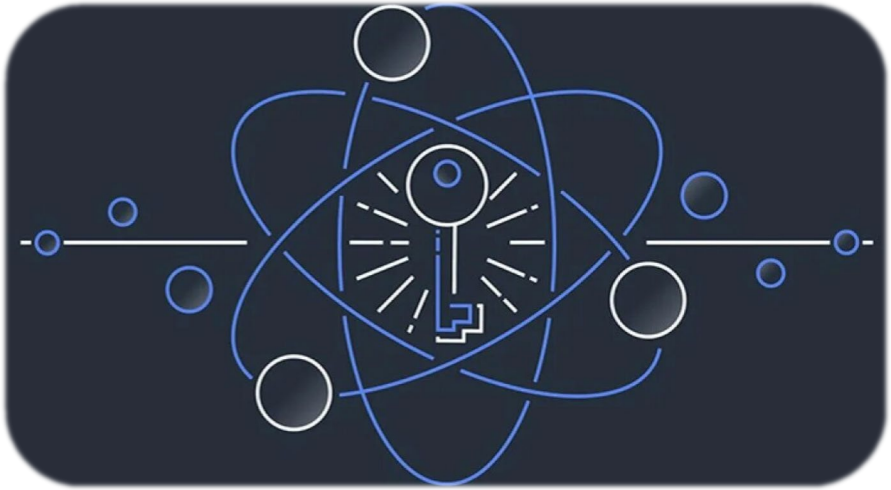
Методы и средства защиты:

- Шифрование (симметричное, асимметричное);
- Аутентификация сигналов (цифровые подписи);
- Защита ПО (обновления, антивирусы, MFA);
- Противодействие РЭБ:
  - Алгоритмы фильтрации;
  - Частотное маневрирование;
  - Отвлекающие источники;
- Обучение и контроль персонала.

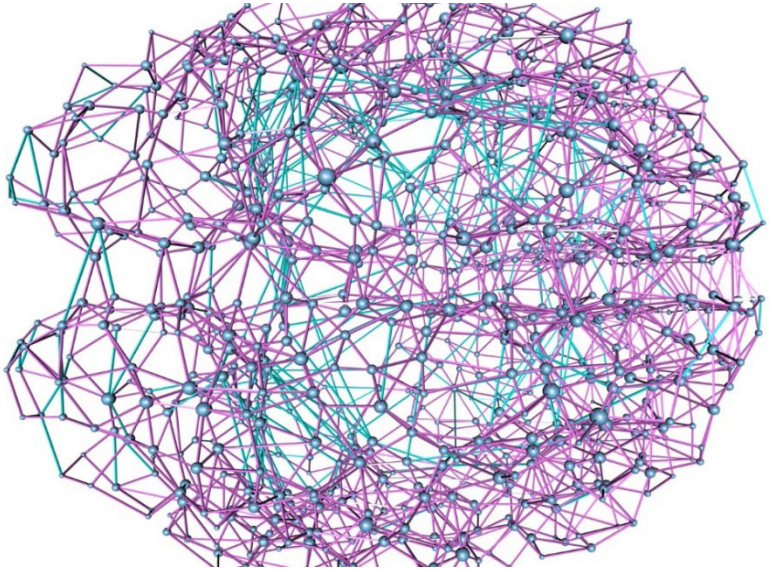
Квантовая криптография

Квантовая криптография – это метод шифрования будущего, когда квантовые алгоритмы сочетаются с математическими. Основная идея данного метода состоит в использовании такого закона природы, как закон неопределенности Гейзенберга (невозможно измерить один параметр частицы, не исказив другой). Это означает, что при прослушивании шифрованного сигнала факт прослушивания нельзя будет скрыть, так как исходный сигнал будет изменен.

Важно сказать, что сейчас квантово-криптографические системы находятся на стадии формирования на рынке, но с учетом темпов развития технологий вскоре будут повсеместно использоваться, заменяя и (или) дополняя существующие методы.



Нейронные сети и ИИ



Сейчас технологии нейронных сетей и ИИ претерпевают самое стремительное развитие и интеграцию во все сферы деятельности человека. Они открывают массу возможностей как в военной сфере, так и в гражданской. С точки зрения информационной безопасности они могут, например, с высокой точностью анализировать и выявлять потенциальные информационные угрозы, надежно маскировать уязвимые места различных систем РЛС, создавать усовершенствованные алгоритмы по обработке и передаче данных, принимать непосредственное участие в урегулировании ситуаций, повлекших возникновение угроз информационной безопасности.

Выводы

Предложенные решения позволят в значительной степени повысить надежность передачи данных с использованием таких важных систем, как радиолокационные станции, в условиях выявленных угроз информационной безопасности. Комбинация традиционных методов с перспективными решениями на основе нейросетей, ИИ и квантовых технологий позволит создать устойчивые системы, способные противостоять самым сложным современным угрозам.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

ВОРОНЕЖСКИЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

- ПОДГОТОВИЛИ:СТУДЕНТЫ ФАКУЛЬТЕТА ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА- САФОНОВА АЛИНА ОЛЕГОВНА, УЛАНОВА ЮЛИАНА АНДРЕЕВНА
- НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИЙ НАУК, ПРОФЕССОР - ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ

Таблица 1 – Ключевые параметры моделей машинного обучения, использованных в экспериментах по распределённому обучению.

Модель	ResNet	DenseNet	VGG
Версия модели	50	161	16
Количество параметров	25 557 032	28 681 000	138 357 444
Размер батча на GPU	64	64	64
Абстрактные блоки	16	4	5
Размер слоя (квадрат)	64 до 1536	128 до 640	192 до 1536
Размер входных данных (пиксели)	3 × 224^2	3 × 224^2	3 × 224^2
Количество сверточных слоёв	53	184	13
Количество линейных слоёв	1	1	3

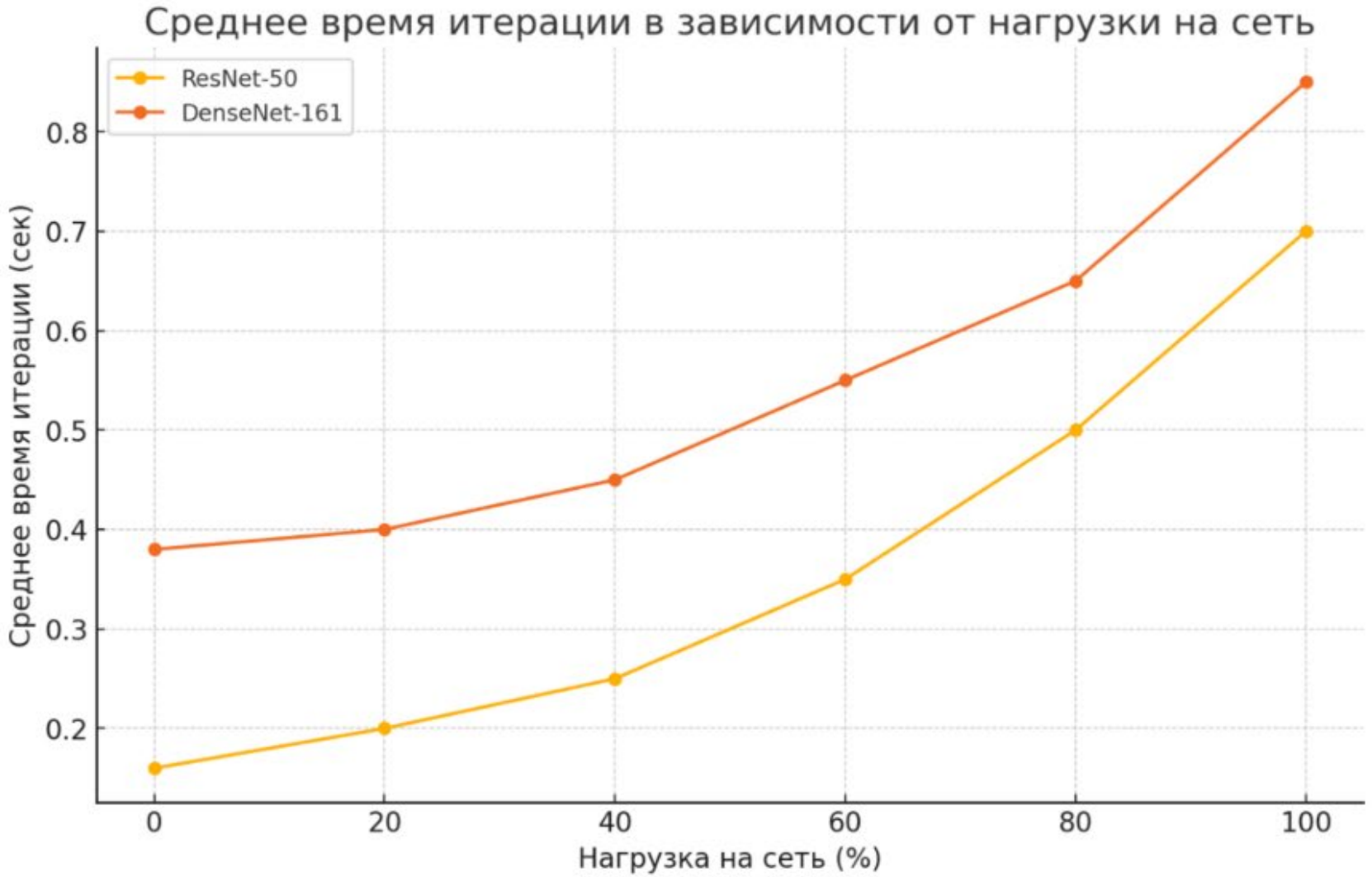


Рисунок 1 – Среднее время итерации в зависимости от нагрузки на сеть

Таблица 2 – Среднее время итерации и требуемая пропускная способность для каждой модели

Модель	Данные за итерацию	Среднее время итерации	Требуемая пропускная способность
VGG-16	830 МБ	0.37 с	17.95 Гбит/с
DenseNet-161	172 МБ	0.38 с	3.63 Гбит/с
ResNet-50	153 МБ	0.16 с	7.69 Гбит/с

```
# Импорт необходимых библиотек
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import os
import PIL

import tensorflow as tf
from tensorflow import keras
from tensorflow.keras import layers
from tensorflow.python.keras.layers import Dense, Flatten
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.optimizers import Adam
```

Рисунок 2 – Импорт библиотек

Блок кода на рис. 2 импортирует библиотеки для работы с изображениями, построения и обучения нейронных сетей, а также для визуализации результатов.

```
dataset_url = "https://storage.googleapis.com/download.tensorflow.org/example_images/flower_photos.tgz"
data_dir = tf.keras.utils.get_file('flower_photos', origin=dataset_url, untar=True)
data_dir = pathlib.Path(data_dir)
print(data_dir)
```

Рисунок 3 – Скачивание и распаковка датасета

В этом разделе (рис. 3) происходит загрузка и распаковка датасета цветочных фотографий, после чего путь к данным преобразуется в объект pathlib.Path.

```
roses = list(data_dir.glob('roses/*'))
print(roses[0])
PIL.Image.open(str(roses[0]))
```

Рисунок 4 – Отображение примера изображения

```
/root/.keras/datasets/flower_photos/roses/7409458444_0bfc9a0682_n.jpg
```

Рисунок 5 – Пример изображения

```
img_height, img_width = 180, 180
batch_size = 32
```

Рисунок 6 – Приведение изображений к единому размеру

```
train_ds = tf.keras.preprocessing.image_dataset_from_directory(
    data_dir,
    validation_split=0.2,
    subset="training",
    seed=123,
    image_size=(img_height, img_width),
    batch_size=batch_size)

val_ds = tf.keras.preprocessing.image_dataset_from_directory(
    data_dir,
    validation_split=0.2,
    subset="validation",
    seed=123,
    image_size=(img_height, img_width),
    batch_size=batch_size)
```

Рисунок 7 – Создание валидационного и обучаемого датасета

```
class_names = train_ds.class_names
print(class_names)
```

```
['daisy', 'dandelion', 'roses', 'sunflowers', 'tulips']
```

Рисунок 8 – Вывод имен цветов

На рис. 8 изображен код, который выводит имена классов, присутствующих в датасете (типы цветов). Результат работы кода также изображен на рис. 8.

```
plt.figure(figsize=(10, 10))
for images, labels in train_ds.take(1):
    for i in range(6):
        ax = plt.subplot(3, 3, i + 1)
        plt.imshow(images[i].numpy().astype("uint8"))
        plt.title(class_names[labels[i]])
        plt.axis("off")
```

Рисунок 9 – Визуализация данных

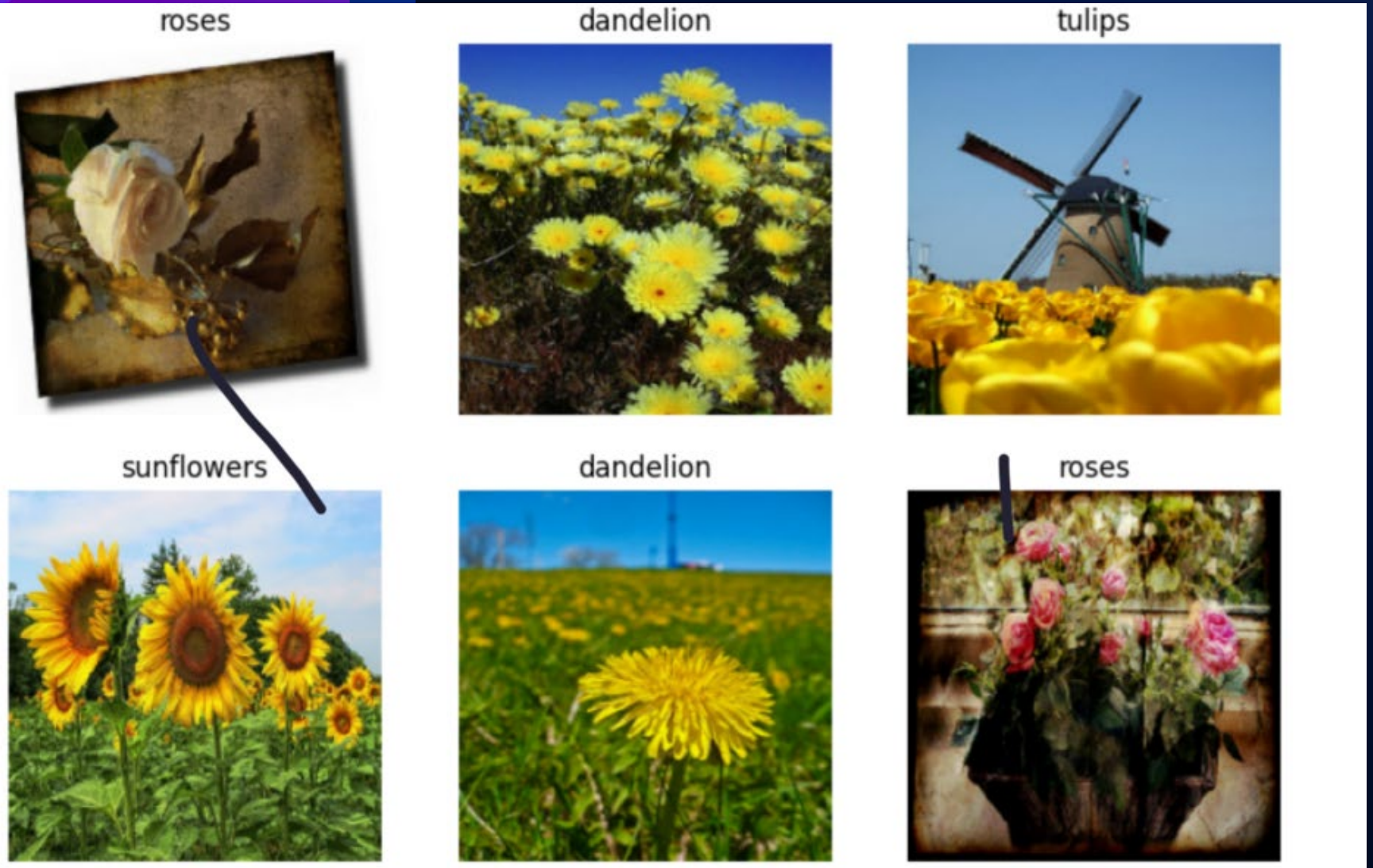


Рисунок 10 – Результат визуализации данных

```
resnet_model = Sequential()
pretrained_model = tf.keras.applications.ResNet50(include_top=False,
                                                   input_shape=(180, 180, 3),
                                                   pooling='avg', classes=5,
                                                   weights='imagenet')

for layer in pretrained_model.layers:
    layer.trainable = False

resnet_model.add(pretrained_model)
resnet_model.add(Flatten())
resnet_model.add(Dense(512, activation='relu'))
resnet_model.add(Dense(5, activation='softmax'))
```

Рисунок 11 – Создание, конфигурация модели обучения

```
resnet_model.compile(optimizer='adam',
                     loss='sparse_categorical_crossentropy',
                     metrics=['accuracy'])
epochs = 30
history = resnet_model.fit(train_ds, validation_data=val_ds, epochs=epochs)
```

Рисунок 12 – Компиляция и обучение модели

```
Epoch 1/20
92/92 [==============================] - 23s 143ms/step - loss: 0.7424 - accuracy: 0.7728 - val_loss: 0.3645 - val_accuracy: 0.8569
Epoch 2/20
92/92 [==============================] - 9s 94ms/step - loss: 0.2720 - accuracy: 0.9040 - val_loss: 0.3633 - val_accuracy: 0.8706
Epoch 3/20
92/92 [==============================] - 10s 103ms/step - loss: 0.1704 - accuracy: 0.9411 - val_loss: 0.4151 - val_accuracy: 0.8678
Epoch 4/20
92/92 [==============================] - 10s 101ms/step - loss: 0.0971 - accuracy: 0.9663 - val_loss: 0.3925 - val_accuracy: 0.8624
Epoch 5/20
92/92 [==============================] - 10s 103ms/step - loss: 0.0633 - accuracy: 0.9850 - val_loss: 0.4109 - val_accuracy: 0.8787
Epoch 6/20
92/92 [==============================] - 9s 91ms/step - loss: 0.0389 - accuracy: 0.9898 - val_loss: 0.4068 - val_accuracy: 0.8828
Epoch 7/20
92/92 [==============================] - 9s 94ms/step - loss: 0.0172 - accuracy: 0.9990 - val_loss: 0.4060 - val_accuracy: 0.8883
Epoch 8/20
92/92 [==============================] - 9s 97ms/step - loss: 0.0094 - accuracy: 0.9997 - val_loss: 0.4191 - val_accuracy: 0.8869
Epoch 9/20
92/92 [==============================] - 9s 99ms/step - loss: 0.0052 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4184 - val_accuracy: 0.8896
Epoch 10/20
92/92 [==============================] - 9s 90ms/step - loss: 0.0038 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4230 - val_accuracy: 0.8883
Epoch 11/20
92/92 [==============================] - 9s 99ms/step - loss: 0.0028 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4254 - val_accuracy: 0.8924
Epoch 12/20
92/92 [==============================] - 9s 98ms/step - loss: 0.0022 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4305 - val_accuracy: 0.8869
Epoch 13/20
92/92 [==============================] - 9s 99ms/step - loss: 0.0019 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4370 - val_accuracy: 0.8883
Epoch 14/20
92/92 [==============================] - 9s 91ms/step - loss: 0.0016 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4392 - val_accuracy: 0.8869
Epoch 15/20
92/92 [==============================] - 9s 99ms/step - loss: 0.0014 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4442 - val_accuracy: 0.8883
Epoch 16/20
92/92 [==============================] - 9s 97ms/step - loss: 0.0012 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4496 - val_accuracy: 0.8883
Epoch 17/20
92/92 [==============================] - 9s 98ms/step - loss: 0.0011 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4559 - val_accuracy: 0.8896
Epoch 18/20
92/92 [==============================] - 9s 91ms/step - loss: 9.4719e-04 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4575 - val_accuracy: 0.8896
Epoch 19/20
92/92 [==============================] - 9s 98ms/step - loss: 8.5307e-04 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4612 - val_accuracy: 0.8896
Epoch 20/20
92/92 [==============================] - 9s 97ms/step - loss: 7.5668e-04 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.4645 - val_accuracy: 0.8910
```

Рисунок 13 – Результат обучения модели при 20 эпохах (итерациях)

```
resnet_model.add(pretrained_model)
resnet_model.add(Flatten())
resnet_model.add(Dense(512, activation='relu'))
resnet_model.add(Dropout(0.5))  # Добавление Dropout слоя с вероятностью 0.5
resnet_model.add(Dense(5, activation='softmax'))
```

Рисунок 14 – измененный код с добавлением ранней остановки

Вышеуказанные шаги помогут в дальнейшем сбалансировать обучение модели и её способность к генерализации на новых данных, обеспечивая более устойчивую и точную модель. Для этого была добавлена строчка кода, изображенная на рис. 14.

После добавления данной строки результат работы кода выглядит следующим образом (рис. 15).

```
Epoch 1/20
92/92 [==============================] - 25s 161ms/step - loss: 0.7987 - accuracy: 0.7425 - val_loss: 0.4049 - val_accuracy: 0.8460
Epoch 2/20
92/92 [==============================] - 10s 106ms/step - loss: 0.4133 - accuracy: 0.8481 - val_loss: 0.3569 - val_accuracy: 0.8692
Epoch 3/20
92/92 [==============================] - 10s 104ms/step - loss: 0.3177 - accuracy: 0.8753 - val_loss: 0.3618 - val_accuracy: 0.8638
Epoch 4/20
92/92 [==============================] - 10s 104ms/step - loss: 0.2638 - accuracy: 0.9063 - val_loss: 0.3430 - val_accuracy: 0.8706
Epoch 5/20
92/92 [==============================] - 9s 97ms/step - loss: 0.2113 - accuracy: 0.9220 - val_loss: 0.3279 - val_accuracy: 0.8787
Epoch 6/20
92/92 [==============================] - 10s 98ms/step - loss: 0.1800 - accuracy: 0.9312 - val_loss: 0.3474 - val_accuracy: 0.8801
Epoch 7/20
92/92 [==============================] - 10s 101ms/step - loss: 0.1614 - accuracy: 0.9380 - val_loss: 0.3672 - val_accuracy: 0.8801
Epoch 8/20
92/92 [==============================] - 9s 100ms/step - loss: 0.1327 - accuracy: 0.9482 - val_loss: 0.3604 - val_accuracy: 0.8869
Epoch 9/20
92/92 [==============================] - 9s 95ms/step - loss: 0.1060 - accuracy: 0.9605 - val_loss: 0.4017 - val_accuracy: 0.8856
Epoch 10/20
92/92 [==============================] - 10s 101ms/step - loss: 0.1101 - accuracy: 0.9578 - val_loss: 0.3632 - val_accuracy: 0.8760
```

Рисунок 15 – Результат обучения модели после добавления остановки

Изменение сетевой нагрузки показано на рис. 17.

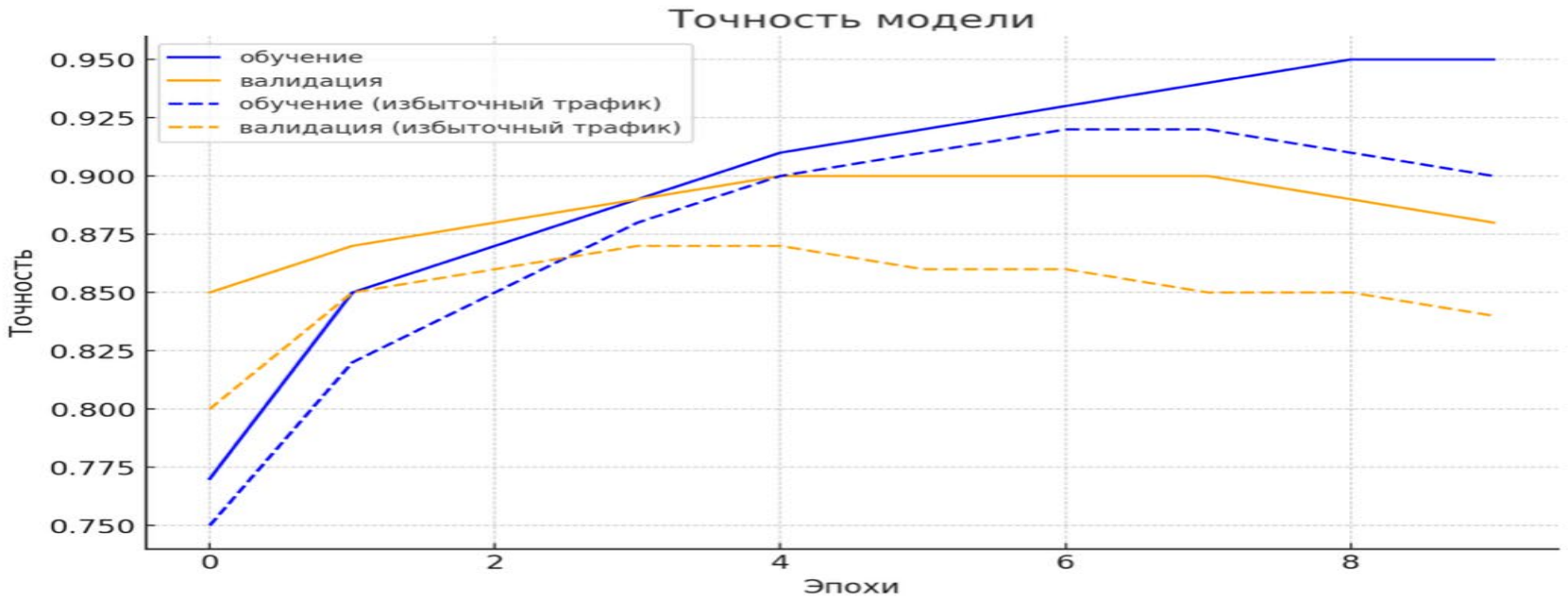


Рисунок 16 – График точности модели

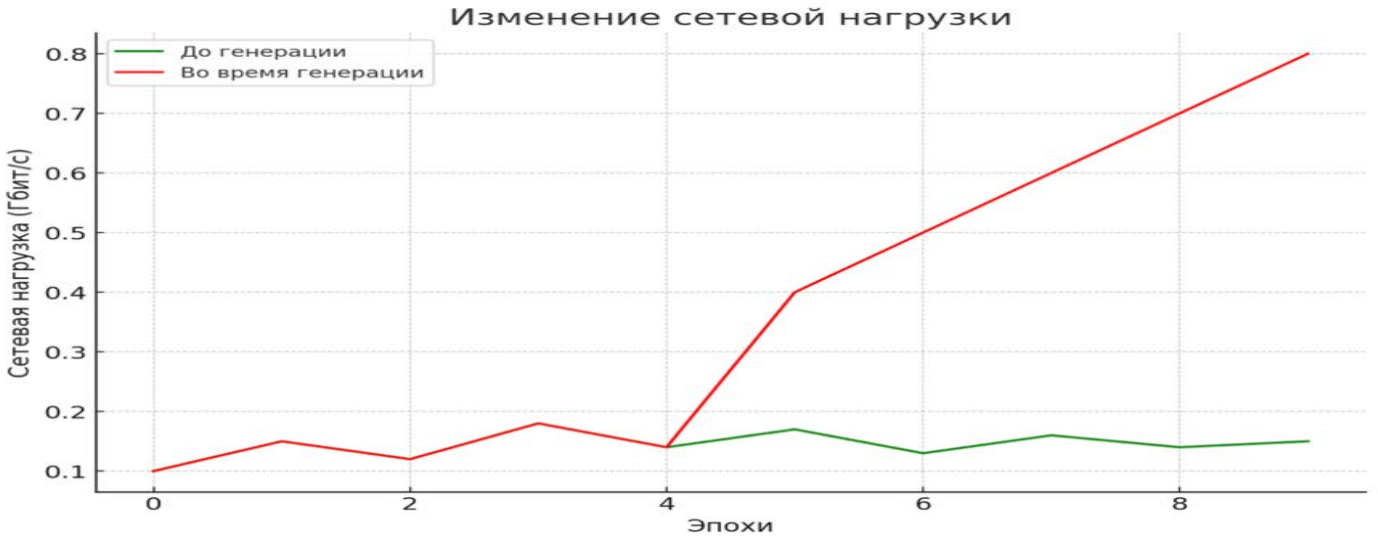


Рисунок 17 – Изменение сетевой нагрузки

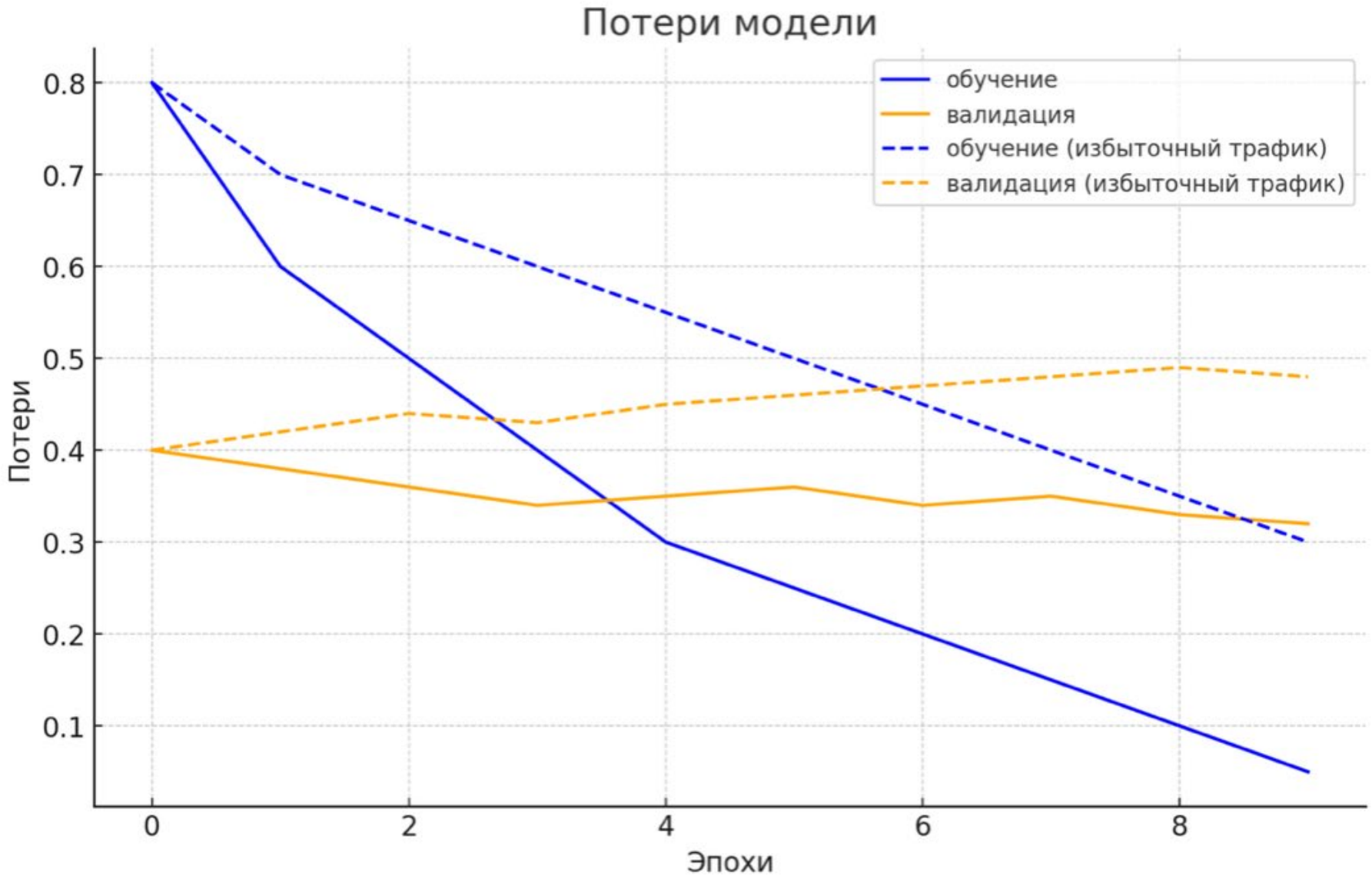


Рисунок 18 – График потерь

- ВЫВОДЫ.
  В РЕЗУЛЬТАТЕ РАБОТЫ МОДЕЛЬ «RESNET50» ПОКАЗАЛА ВЫСОКУЮ ТОЧНОСТЬ НА ТРЕНИРОВОЧНЫХ ДАННЫХ И ХОРОШУЮ ОБОБЩАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ НА ВАЛИДАЦИОННЫХ ДАННЫХ ОБЫЧНЫХ УСЛОВИЯХ. ОДНАКО ПРИ НАЛИЧИИ ИЗБЫТОЧНОГО ТРАФИКА ПРОДЕМОНСТРИРОВАЛА
  ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЕ ПОТЕРЬ НА ВАЛИДАЦИИ, ЧТО УКАЗЫВАЕТ НА УХУДШЕНИЕ СПОСОБНОСТИ МОДЕЛИ ОБОБЩАТЬ НА НОВЫХ ДАННЫХ.
  ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО ГРАФИКА И УЛУЧШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ НА НОВЫХ ДАННЫХ РЕКОМЕНДУЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ МЕРЫ:
  1. ОБЕСПЕЧИТЬ СТАБИЛЬНОЕ И ВЫДЕЛЕННОЕ СЕТЕВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ВО ВРЕМЯ ОБУЧЕНИЯ.
  2. ПРИМЕНЯТЬ МЕТОДЫ ФИЛЬТРАЦИИ И КОНТРОЛЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ НЕНУЖНОГО ТРАФИКА.
  3. ПРОВОДИТЬ ОБУЧЕНИЕ В ПЕРИОДЫ НИЗКОЙ СЕТЕВОЙ АКТИВНОСТИ.
  4.ИСПОЛЬЗОВАТЬ МЕТОДЫ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ И РАННЮЮ ОСТАНОВКУ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ.
  ДАННЫЕ МЕРЫ ПОМОГУТ СОЗДАТЬ БОЛЕЕ УСТОЙЧИВУЮ И ТОЧНУЮ МОДЕЛЬ, СПОСОБНУЮ ЭФФЕКТИВНО КЛАССИФИЦИРОВАТЬ НОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДАЖЕ В УСЛОВИЯХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ПОМЕХ.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Завалишинские чтения

Authors – Svetlana Fomicheva, SUAI, Saint Petersburg, Russia
Georgy Zhemelev, SPbPU Saint Petersburg, Russia

DISTRIBUTED SELECTIVE TRAINING OF AUTOENCODERS

Saint Petersburg
2025

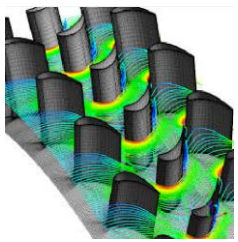
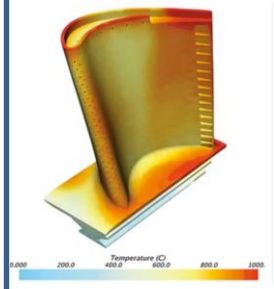
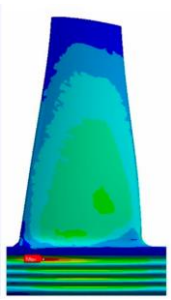
Outline:

1. The relevance of 3D design for gas turbine blades
2. The relevance of distributed selective training of variational autoencoders (VAE) for 3D design
3. Architectures of our VAEs
4. Our protocol of distributed selective AE-training with multi-input functional encryption (MIFE)
5. Experimental results
6. Conclusions

1. The relevance of 3D design for gas turbine blades

- Each workflow is embedded in automatic chain
- All workflows are interconnected and connected to an optimizer

Analysis Workflow Automation

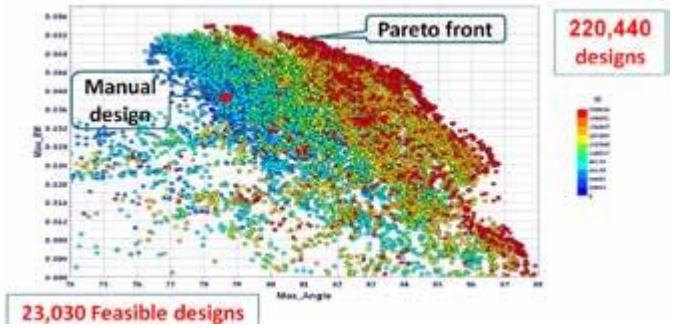
CAD	CFD	CHT	MIL	AEM
				
Param. Model Variation	Aerodynamic Analysis	Heat-Transfer Analysis	Lifting Prediction	Excitation (Flutter, FR)

Global target – Reduce time of Model creation (8 week → 24 hours)
Local target – Reduce time of CAD+CFD workflows (2-3 week → real time)

1. The relevance of 3D design for gas turbine blades

Today Challenges on Gas Turbine Design

- Design engineer to oversee and judge all disciplines
- Parametric design models too big (> 400 parameters)
- Extremely wide design space (too many disciplines, no manual exploration)
- Robust design required due to design complexity, but not feasible



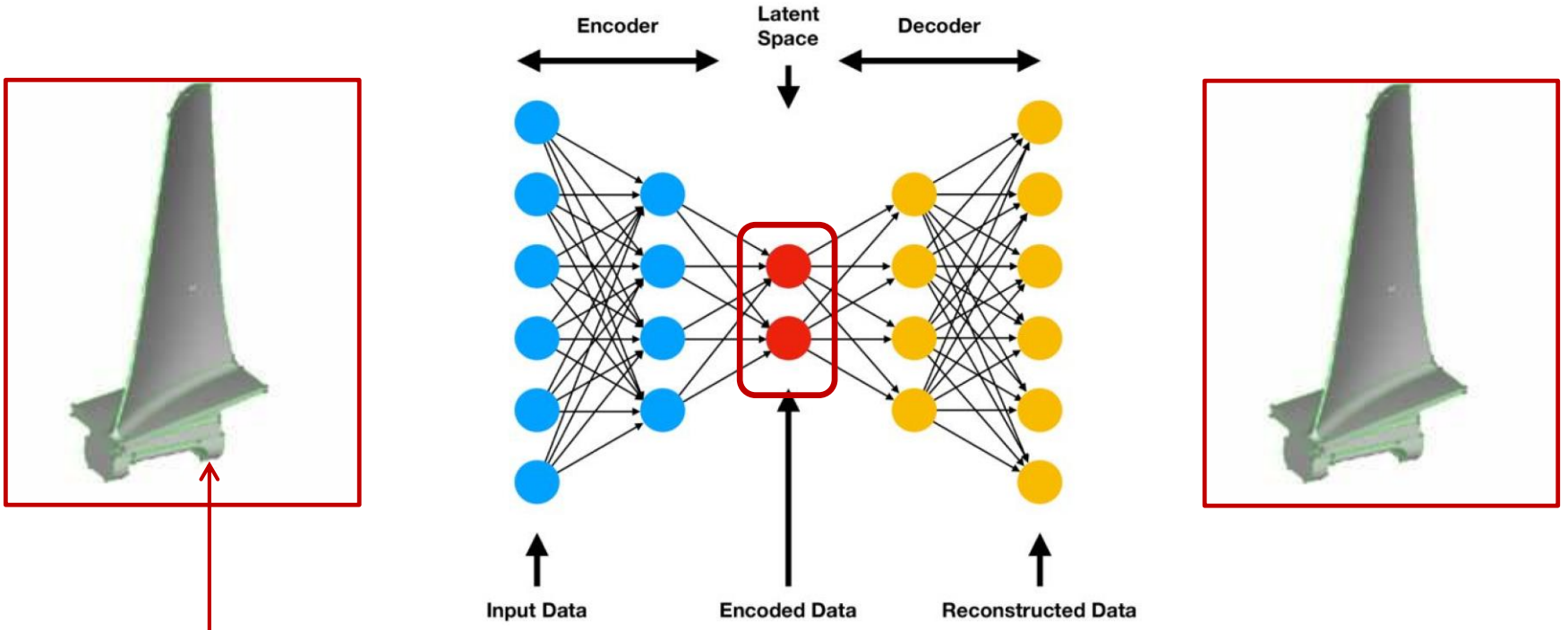
Need alternatives for compute capacity → Machine Learning

1. The relevance of 3D design for gas turbine blades

Solving this optimization problem using machine-learning methods actualizes the problem of representing a 2D profile and a 3D shape, so that**:**

1) The representation is **suitable for use in ML models**.
2) The representation should be **easily scalable**.
3) The representation must be **robust under geometric deformations** such as translation, rotation, and other affine transformations.
4) The representation must be **parametric** in order to control its shape.
5) The representation should be **compact** so as to efficiently use computational budget when optimizing a blade shape.

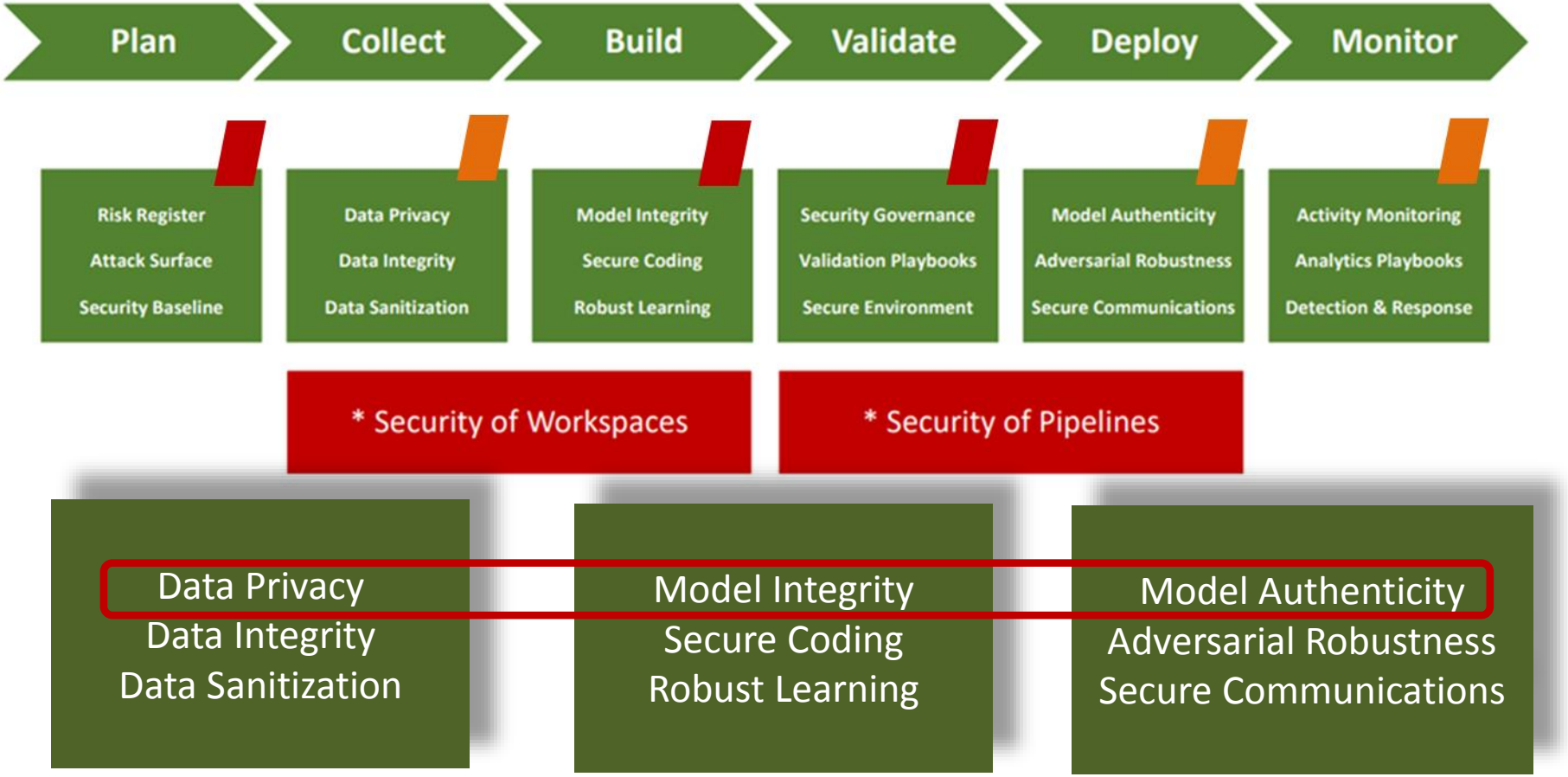
2. The relevance of distributed selective VAE-training for 3D design of GT blades



Today Challenges on ML-learning for Gas Turbine Design

- Parametric design models too big (> 400 parameters)
- Need to increase the privacy & confidentiality of training data/model
- Need to reduce overhead communication costs for distributed machine learning of deep models

2. The relevance of distributed selective VAE-training for 3D design of GT blades

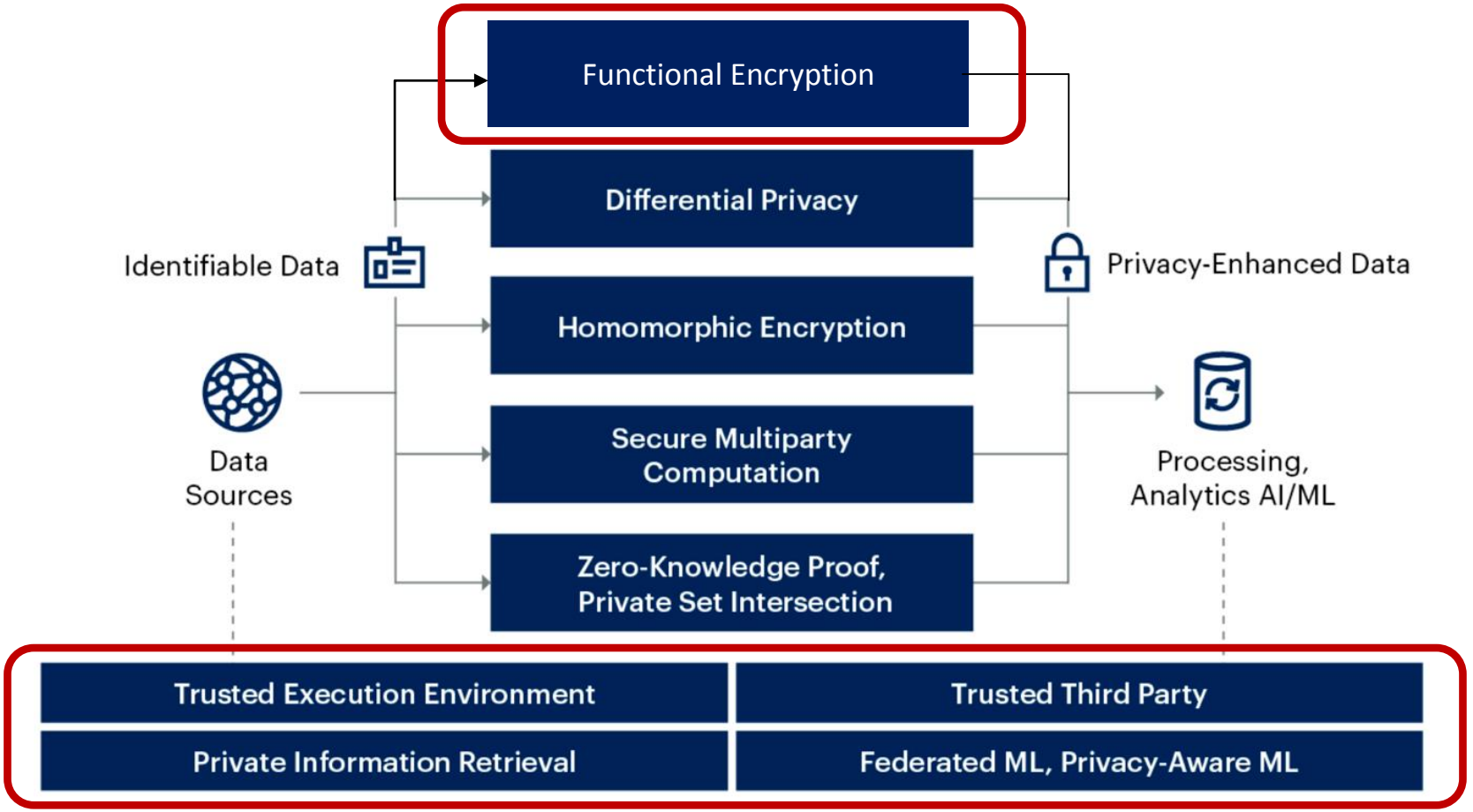


- Need to increase the **privacy & confidentiality** of training data/model at MLaaS (Machine Learning–as-a Service)
- Need **to reduce overhead communication costs** for distributed machine learning of deep models

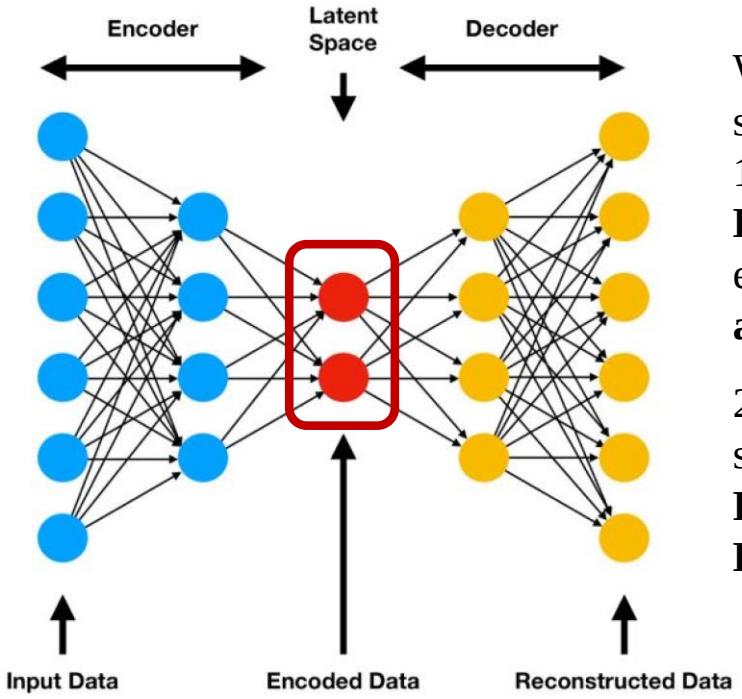
2. The relevance of distributed selective VAE-training for 3D design of GT blades

Secure Computation Techniques

Our scheme - **Multi-Input FE-scheme**



3. Architectures of our VAEs

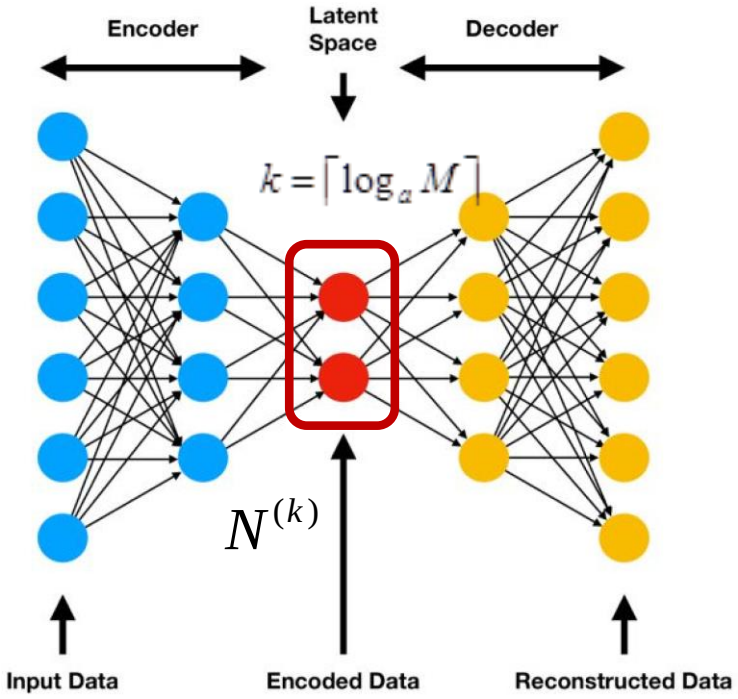


We consider approaches to solving the problem of secure automated machine learning :
1) Architectural, where a **Selective Distributed Learning method** (SDL) is chosen as the basis for ensuring the **confidentiality of both training data and ML models**.

2) **Confidential computing**, from the entire spectrum of which, in this case, the concepts of **Functional Encryption** (FE) and **Trusted Execution Environment** (TEE) are used.

We show that selective batch processing of **latent VAE layers with functional encryption** allows for the required level of confidentiality, as well as significantly improving the efficiency of SDL compared with federated learning (FL), in terms of both reducing time overhead and reducing the cost of memory and communication. SDL is considered here as a special case of FL.

3. Architectures of our VAEs



Architectures of our VAEs:

M - inputs of the encoding and outputs of the decoding components, for each of them (encoder and decoder)

On each i-th layer of the encoder, when i changes from 2 to k, the number of neurons equal to

$$N^{(i)} = \frac{N^{(i-1)}}{a}, N^{(1)} = M$$

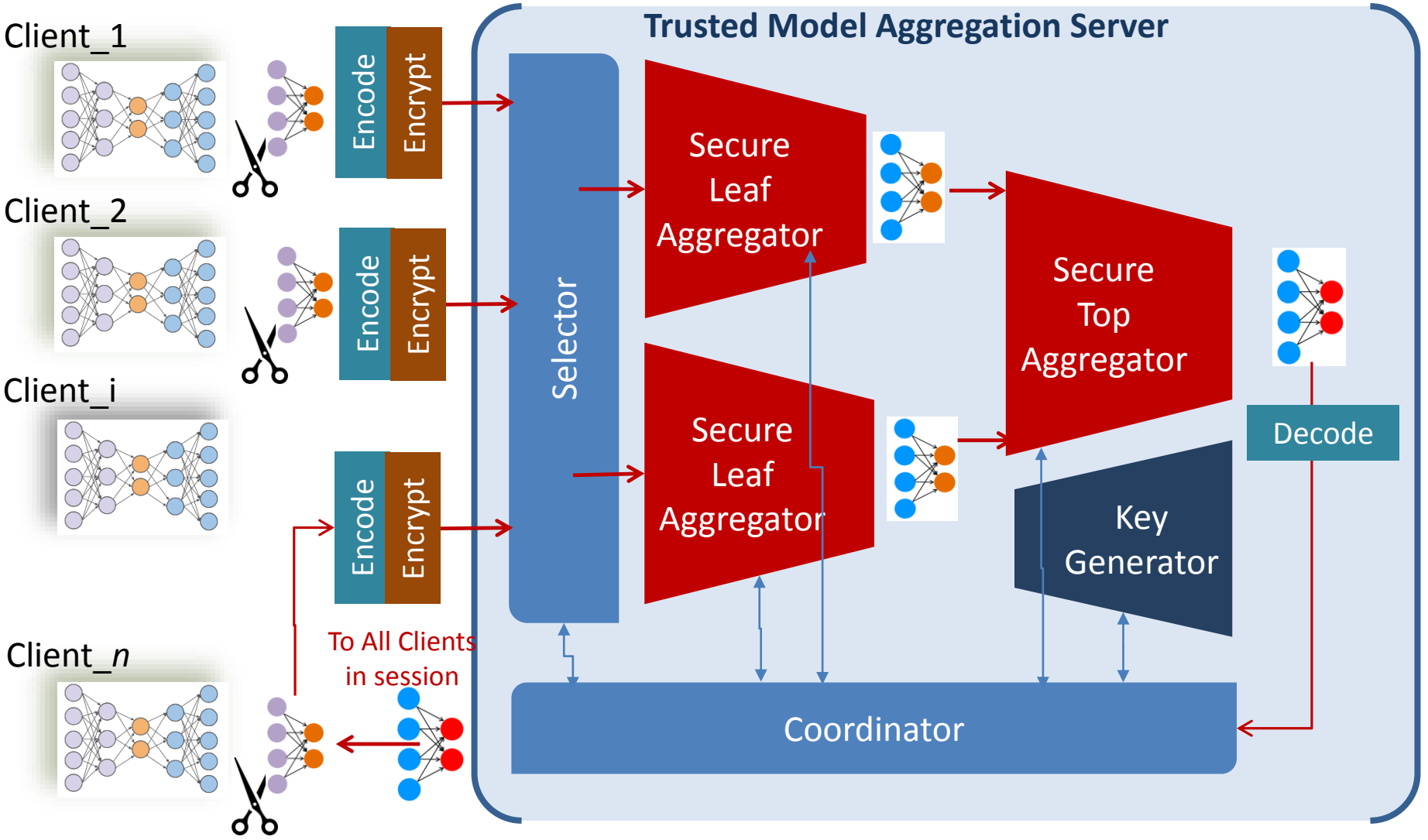
a – controlled scale parameter. For the decoding part, when j changes from k+1 to 2k, the number of neurons is set equal to

$$N^{(j)} = aN^{(j-1)}, N^{(2k)} = M.$$

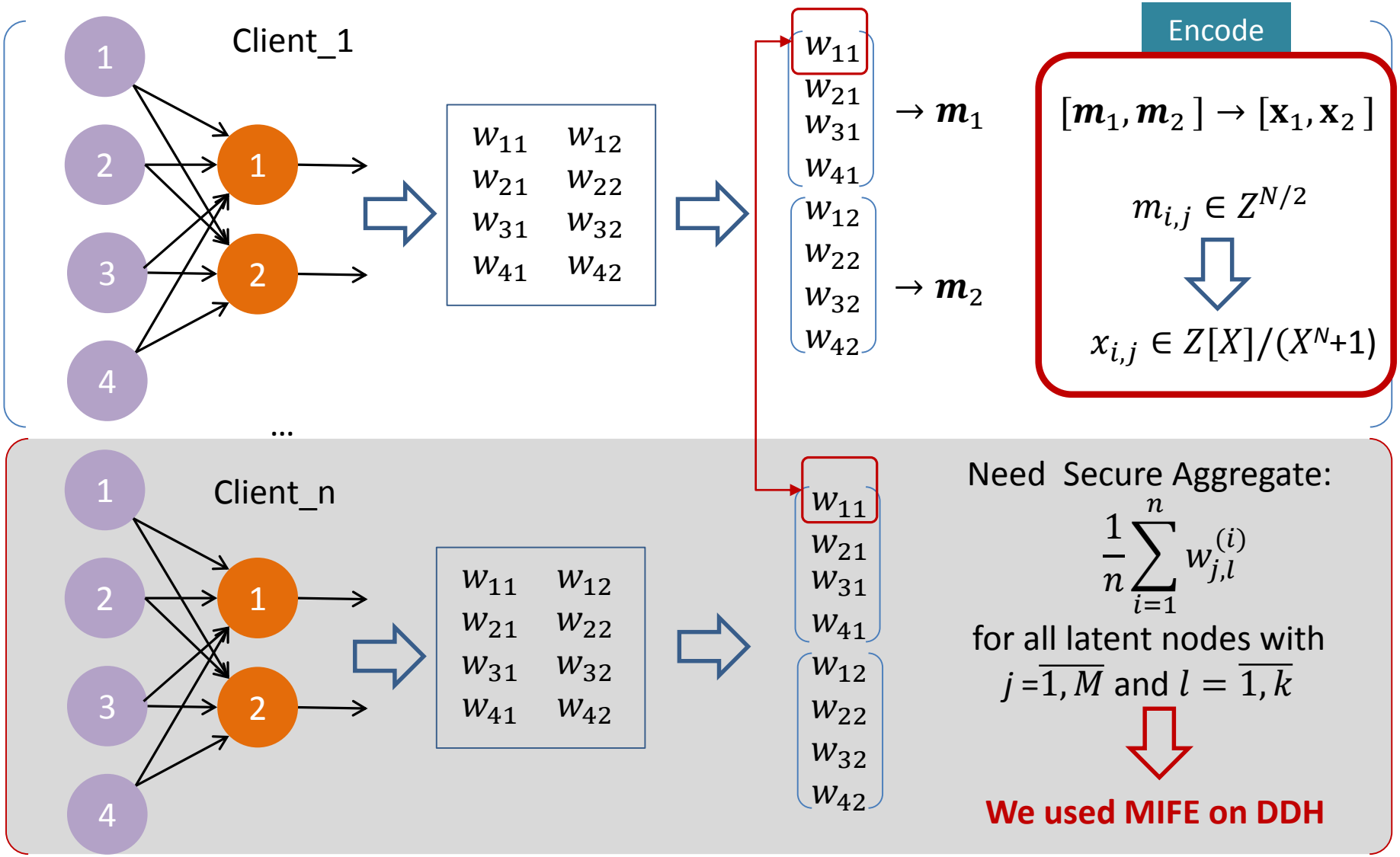
During Auto ML, the **author's NAS optimization algorithm** controls the number of neurons in the **latent layer** and proportionally changes the number of layers for the encoding and decoding VAE-components

$$N^{(k)}$$

3. Architectures of our VAEs: Our Secure Distributed Learning Framework

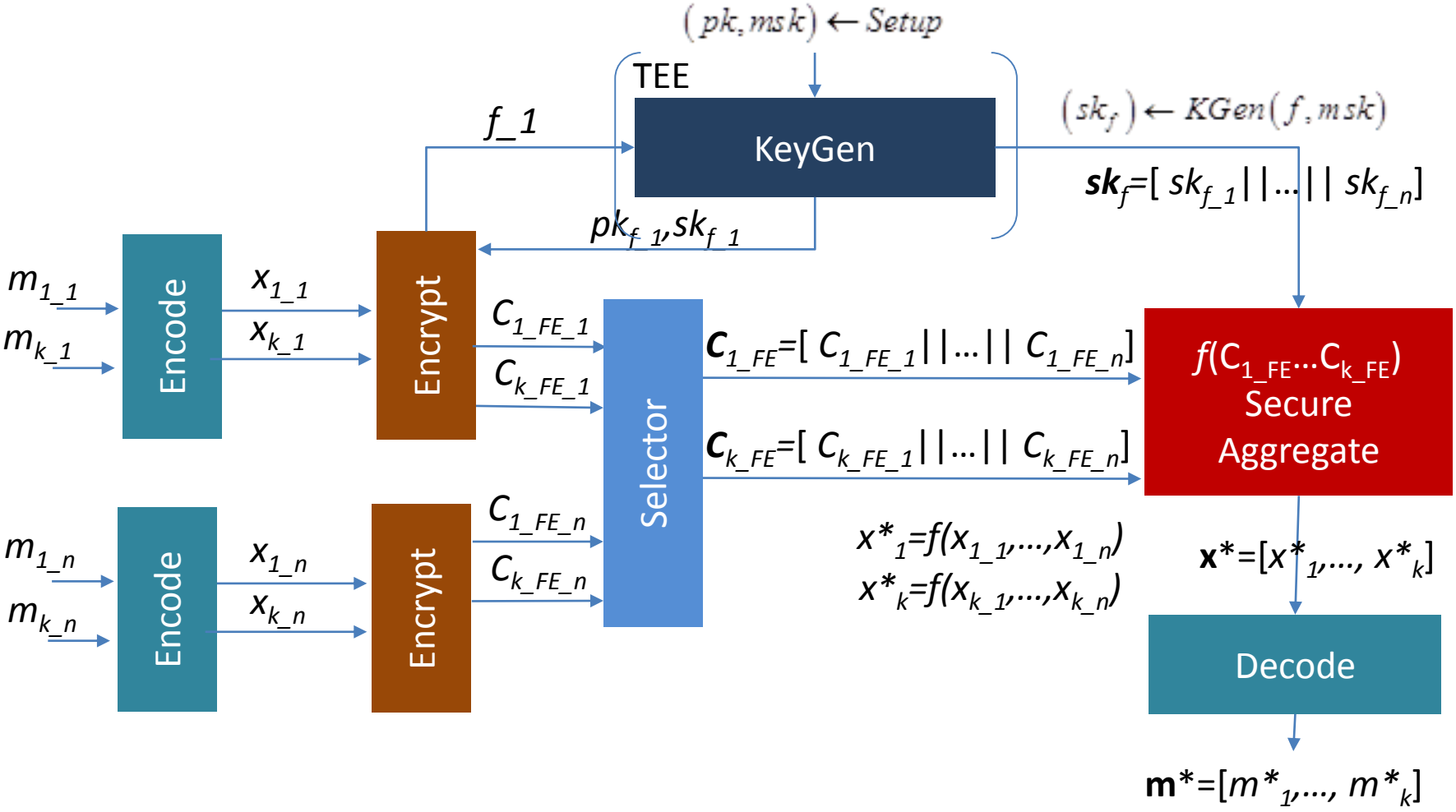


3. Architectures of our VAEs: Our Secure Aggregator

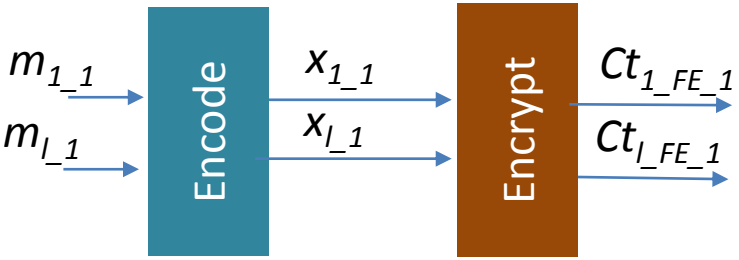


4. Our protocol of distributed selective AE-training with functional encryption

Our MIFE-Scheme:



4. Our protocol of distributed selective AE-training with functional encryption



Encrypt Block based on the DDH assumption

$$mpk = \left(\mathbb{G}, (h_i = g^{s_i})_{i\in[\ell]}\right)$$
$$\mathsf{Ct}_{\mathbf{x}} = \left(\mathsf{ct}_0 = g^r, (\mathsf{ct}_i = h_i^r \cdot g^{x_i})_{i\in[\ell]}\right)$$
$$\mathsf{Sk}_{\mathbf{y}} = \langle \mathbf{s}, \mathbf{y}\rangle = \sum_{i\in[\ell]} s_i \cdot y_i,$$

Let ***GroupGen*** be a probabilistic polynomial time algorithm that takes as input a security parameter 1^{λ}, and outputs a triplet (***G***; *p*; *g*) where ***G*** is a group of order *p* that is generated by $g \in \boldsymbol{G}$, and *p* is an λ -bit **prime** number and random $r \leftarrow Z_p$

$$\begin{aligned}\mathsf{Decrypt}(mpk, \mathsf{Ct}, \mathsf{sk}) &= \frac{\prod_{i\in[\ell]} \mathsf{ct}_i^{y_i}}{\mathsf{ct}_0^{\mathsf{sk}_{\mathbf{y}}}} = \frac{\prod_{i\in[\ell]} (g^{s_i r + x_i})^{y_i}}{g^{r(\sum_{i\in[\ell]} y_i s_i)}} \\ &= g^{\sum_{i\in[\ell]} y_i s_i r + \sum_{i\in[\ell]} y_i x_i - r(\sum_{i\in[\ell]} y_i s_i)} \\ &= g^{\sum_{i\in[\ell]} y_i x_i} = g^{\langle \mathbf{x}, \mathbf{y}\rangle}.\end{aligned}$$

4. Our protocol of distributed selective AE-training with MIFE (MIFE_SDL_VAE)

MIFE-IP scheme on Decisive Diffie-Hellman

Setup (1^λ; 1^l): Select λ, N, $l = \left\lceil \frac{N}{2n} \right\rceil$, $(G; p; g) \leftarrow \mathrm{GGen}(1^\lambda)$ for $s_i \in Z_p^l$ $u_i \in Z_p^l$ (λ> 256).

Compute $h_i = g^{s_i}$

Return a pair of master keys (m*pk*:= (g; (h_i)); *msk* :=((s_i); (u_i))); *mpk* – public master key, *msk* – secret master key;

Encode (m_i): Perform a presentation $x_i \leftarrow$ Encode (m_i), where $m_i \in Z^{N/2}, x_i \in Z[X]/(X^N + 1)$.

$i \in \{1,\ldots,n\}$, N - power of a cyclothymic polynomial.

Return x_i.

Encrypt (*mpk*; x_i): For vector $x_i \in Z_p^l$ generate a random number $r_i \leftarrow Z_p$

Compute $c_{FE_i0} = g^{r_i}, \mathbf{c}_{\mathrm{FE_i}} = h_i^{r_i} g^{x_i + u_i}$,

Return encrypted texts $C_{FE_i} = \left(c_{FE_i0}, \mathbf{c}_{\mathrm{FE_i}}\right)$.

KeyGen (*msk*; **y**): For the *msk* secret key and the function vector $\mathbf{y} = (\mathbf{y}_1 \| \ldots \| \mathbf{y}_n) \in Z_p^{n \cdot l}$,

where $\mathbf{y}_i = (y_{i1}, \ldots, y_{in}) \in Z_p^l$,

Compute the decryption key $sk_y = \left(\mathbf{y}, \mathbf{d}_i\big|_{i=\overline{1,n}}\right) = \left(y_i^T s_i\big|_{i=\overline{1,n}}, z\right) = \sum_{i=1}^{n} y_i^T u_i$.

Decrypt (*mpk*; (C_{FE_i}); sk_y): For *mpk* use *n* ciphertexts $C_{FE_i} = \left(c_{FE_i0}, \mathbf{c}_{FE_i}\right)$,

where $C_{FE_i} = \left(c_{FE_i0}, \mathbf{c}_{FE_i}\right)$ and secret key sk_y for function **y**, to compute

$$C := \frac{\prod_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{l} c_{FE_ij}^{y_{ij}} / c_{FE_i0}^{d_i}\right)}{g^{z}}.$$

, Return $\log C = \sum_{i=1}^{n} \langle x_i, y_i \rangle$.

4. Our protocol of distributed selective AE-training with MIFE

Proposed selective training algorithm MIFE_SDL_VAE

Initialization: Initialize the parameters $W^{(i)}$ and α-the training rate of the autoencoder on the client and server side. Execute the **setup** algorithm of the MIFE-IP-DH scheme

Selective functional training: Perform a cycle until the target minimum of the loss function (RMSE) is obtained on the side of the corresponding client (i):

Step 1. Upload the required logit-vectors $\left|\mathbf{w}_k^{(j)}\right|$ of layer FC_k according to autoencoder hyperparameters θ_d, here j – number of k-layer neurons

Step 2. Run SGD on the local dataset and update the local settings $\left|\mathbf{w}_k^{(j)}\right|$ $w_j := w_j - \alpha \frac{\partial E_i}{w_j}$,

Step 3. Compute the gradient vector $\Delta \mathbf{w}_k^{(j)}$, of the latent layer, calculated during SGD on the client side. Calculate the loss-function $LF^{(i)}$ on the current VAE training epoch. Compute vector $\mathbf{m}^{(i)} = \left\{m_j^{(i)}\right\}\Big|_{j=\overline{1,s}}, m_j^{(i)} = (1 - LF^{(i)})\Delta \mathbf{w}_k^{(j)(i)}$,

then for MIFE-IP-DDH scheme algorithm apply $\left(sk_f^{(i)}\right) \leftarrow KGen(f, msk)$

$C_{SDL}^{(i)} \leftarrow \left\{Encrypt_{pk}(\mathbf{x}_i)\right\}_{i=\{1,\dots,n\}}$.

4. Our protocol of distributed selective AE-training with MIFE

Step 5, Upload encrypted data C_{SDL} to a trusted server.

Step 6. On the trusted server side: Aggregate encrypted latent layer parameters as a weighted average

$$\mathbf{C} = \left\{C^{(j)}\right\}_{j=\overline{1,s}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} C^{(j)}_{SDL_i}.$$

Step 7. On the trusted server side: Execute the MIFE-IP-DDH scheme decryption algorithm. With the *mpk* - public key, *n* ciphertexts are used $\left\{C^{(j)}\right\}_{j=\overline{1,s}}$

where $C^{(j)}$ encrypted with secret key $sk_{\mathbf{y}}$ for function **y**.

Return $\mathbf{x}' = \log C = \sum_{i=1}^{n} \langle x_i, y_i \rangle.$

Step 8. Perform reverse encoding $m_i = \left\{m_i^{(j)}\right\}_{j=\overline{0,s}} = Decode_N(x_i^{(j)})\Big|_{j=\overline{0,s}}.$

Compute $\Delta\mathbf{w}'^{(i)}_k = (1 - LF^{(FE)})/m_i.$

Return updated plaintext $\Delta\mathbf{w}'^{(i)}_k$ for clients

Completion of the training round. On client side: If $LF^{(FE)} \geq LF^{(i)}$ then update the FC_k-layer of latent variables, taking into account the obtained gradient measurements

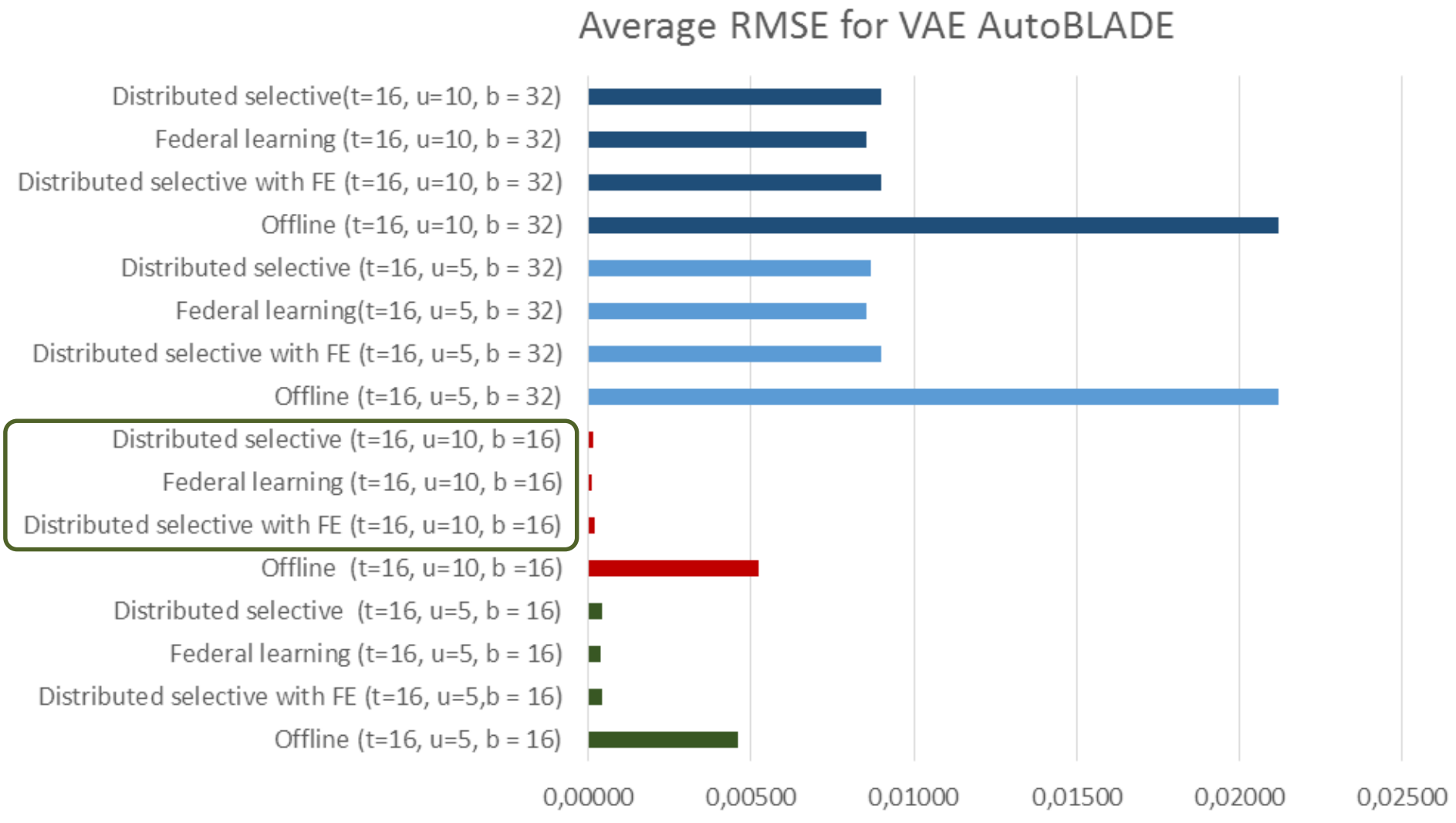
Perform local retraining of VAE (forward and reverse propagation). Save a trained local ML autoencoder model $\theta \times \left|\mathbf{W}^{(i)}\right|$.

5. Experimental results

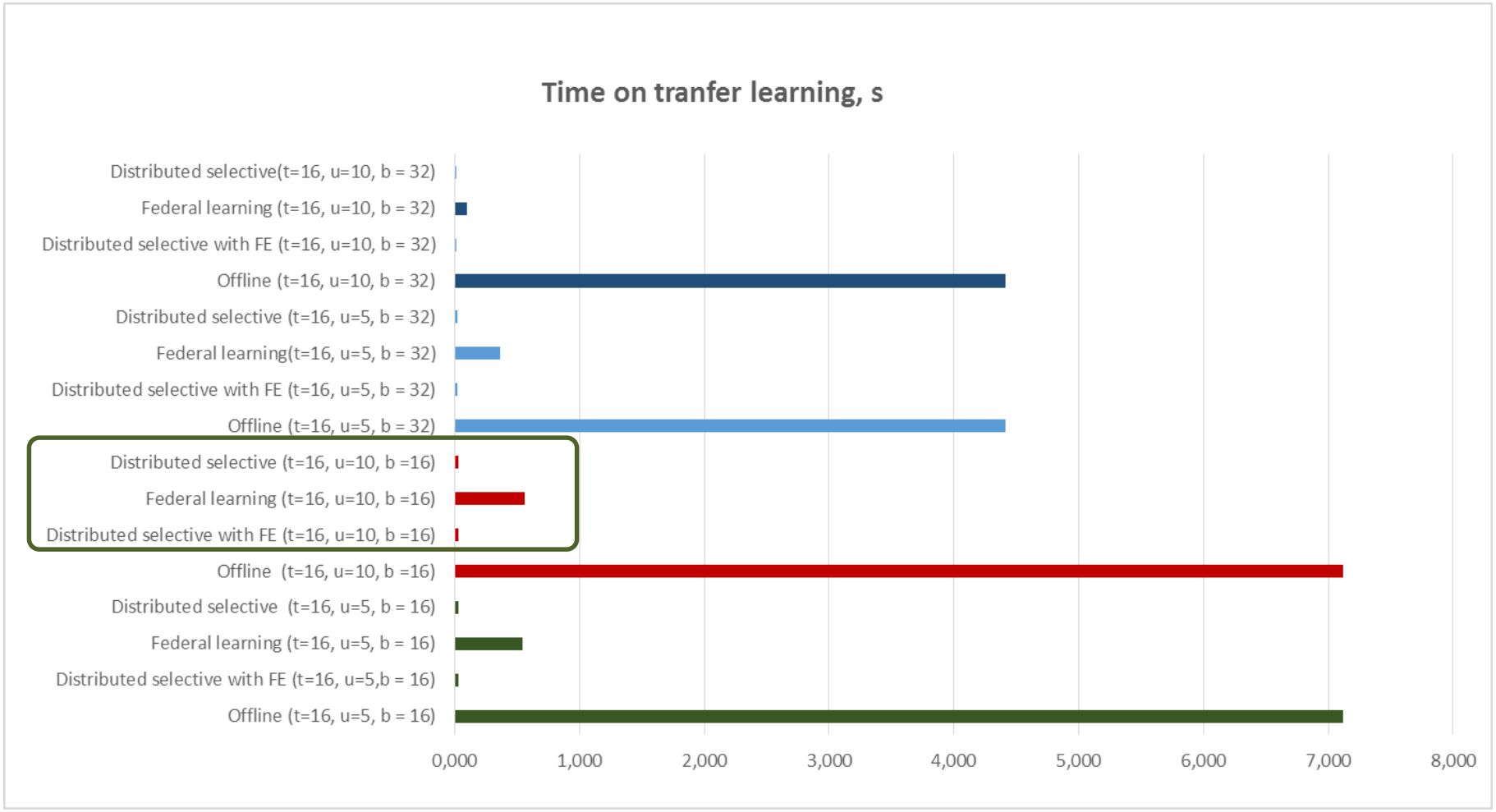
Our experimental stand

- The experiments were using PyTorch3D, PyTorch Geometric, and the gmpy2, PrivPy, and AutoSklearn libraries.
- An instance of a **confidential Azure virtual machine** (using TEE AMD SEV-SNP (GA)) is used as a trusted server, with which a secure channel is created through remote attestation.
- The Azure VM settings were used - 2 processor cores, 8 GB of RAM, 30 GB hard disk, Ubuntu 22.04 OS.
- Characteristics of clients' computing power - CPU - Intel Xeon CPU E5-2696 v2 2.5 GHz, GPU - NVIDIA Tesla V100-SXM2-16GB, RAM - 40 GB DDR3 (the service resources were used https://gpudc.ru).
- **Synthetic author's Dataset** (GAN-generation) of 3D blades of Gas Turbine (more than 20000 samples)
- The experimental results for VAE with the layer **configuration [400x16x400**] are presented in table 1 (for one round = 100 epochs).

5. Experimental results



5. Experimental results



5. Experimental results

Table 1. Estimating average RMSE with different VAE learning approaches

VAE	Learning approaches	Average RMSE	Time of training (s)
AutoBlade (t=16, u=5, b = 16)	Offline (local on the client)	0 .461 E-2	0.712 E+1
	Distributed selective with functional encryption	**0.407 E-3**	**0.328 E-1**
	Federal learning	0.383 E-3	0.545 E+0
	Distributed selective	0.402 E-3	0.285 E-1
AutoBlade (t=16, u=10, b =16)	Offline (local on the client)	0.522 E-2	0.712 E+1
	Distributed selective with functional encryption	**0.177 E-3**	**0.341 E-1**
	Federal learning	0.113 E-3	0.563 E+0
	Distributed selective	0.157 E-3	0.306 E-1
AutoBlade (t=16, u=5, b = 32)	Offline (local on the client)	0.212 E-1	0.441 E+1
	Distributed selective with functional encryption	**0.899 E-2**	**0.204 E-1**
	Federal learning	0.854 E-2	0.363 E+0
	Distributed selective	0.867 E-2	0.229 E-1
AutoBlade (t=16, u=10, b = 32)	Offline (local on the client)	0.212 E-1	0.441 E+1
	Distributed selective with functional encryption	**0.899 E-2**	**0.120 E-1**
	Federal learning	0.854 E-2	0.964 E-1
	Distributed selective	0.901 E-2	0.107 E-1

6. Conclusion

1. The compact representation of 3D blades is created
2. Protocol of **distributed selective VAE-training with multi-input functional encryption MIFE_SDL_VAE** is proposed and implemented:

- Parametric design models has **smaller parameters** (10-32 vs 400)
- Confidentiality of training data and model **has verified level** $(\lambda > 256)$.
- **Reducing overhead communication** costs for distributed machine learning was achieved
- The average RMSE quality metrics of AutoBlade autoencoders trained according to the proposed MIFE_SDL_VAE scheme **are close** to the values of RMSE metrics of models using the **federated learning method**, in which complete locally trained VAE models were transmitted over communication **channels in open format**
- for AutoBlade [400x16x400] with the number of latent variables t=16 for 5 clients (u=5) with the training package size b = 16, the **average RMSE value is 0.407E-3 versus 0.383E-3 for federated training.** For comparison, the average RMSE for models with local autonomous learning is 0.461E-2,

Authors – Svetlana Fomicheva, SUAI, Saint Petersburg, Russia
Georgy Zhemelev, SPbPU Saint Petersburg, Russia

Thank you!
Questions?

POLYTECH SUAI

Saint Petersburg
2025

Роботизация процесса тренировки хоккеистов

Завалишинские чтения

Волобуев Д.Н. – студент кафедры механики, мехатроники и робототехники
ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет»

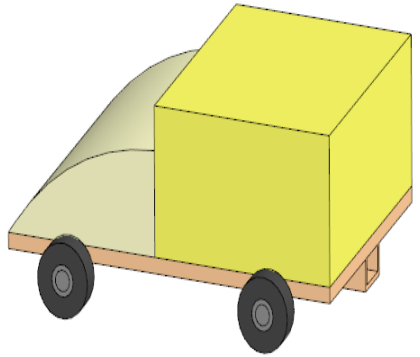
Шайбомет PARAMECANIC, Швеция

Пассер-шайбомет "Quick Puck"

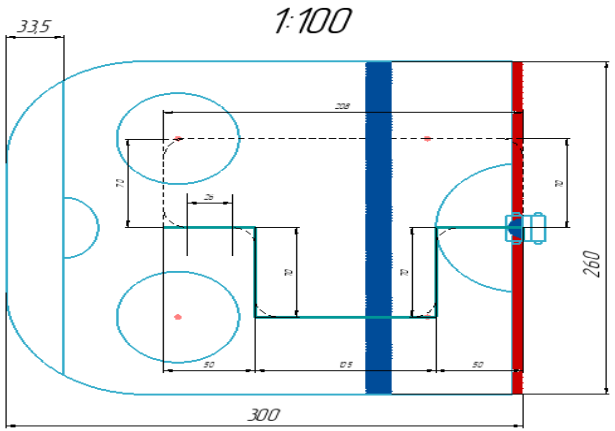
Таблица 1

	Шайбомет PARAMECANIC	Пассер-шайбомет "Quick Puck"	Шайбомет "AxelPuck"
Производитель	PARAMECANIC AB	SMART & QUICK	AxelPuck
Страна	Швеция	Китай	Россия
База	Стационарный	Колесный	Стационарный
Мощность	Не указывается	Не указывается	Не указывается
Время автономной работы	-	2 ч	-
Скорость метания шайб	5-160 км/ч	8-160 км/ч	5-155 км/ч
Доступность в России	Массово не производится, цена не указывается	Массово не производится, цена не указывается	Массово не производится, 350 000 р

Модель устройства



Траектория движения



Основные результаты: предложена модель устройства для тренировки хоккеистов, представлена его траектория движения по ледовой площадке, описан принцип работы данного тренажера

Авторы: магистранты В.Ю. Головин В.А. Давыдов, кандидат технических наук, доцент В.В. Булатов

Организация: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Произведен поиск программных решений для симуляции мобильных робототехнических комплексов. Определены наиболее актуальные существующие разработки. Выполнен анализ полученной информации по теме, результаты представлены в виде сравнительной таблицы с ключевыми отличиями и определены наиболее подходящие сценарии применения данных программных комплексов с учетом их особенностей.

Таблица 1 – Сравнение программных решений по ключевым параметрам

Характеристика	Gazebo	NVIDIA Isaac Sim	Webots	Unity Robotics Hub
Тип симуляции	Симуляция физики с моделями роботов	Симуляция физики на базе алгоритмов NVIDIA PhysX	Симуляция физики с моделями роботов	Симуляция в игровом движке Unity
Поддержка графики	3D визуализация	Высококачественная графика (Rays tracing)	3D визуализация	Высококачественная 3D графика, возможно использование Ray Tracing
Лицензия	Открытая (Apache 2.0)	Проприетарная (частично открытая)	Открытая (LGPL)	Бесплатно для некоммерческих целей, коммерческая лицензия
Сообщество и поддержка	Большое сообщество, активная разработка	Поддержка от NVIDIA, небольшое сообщество	Большое сообщество, поддержка от Cyberbotics	Большое сообщество Unity

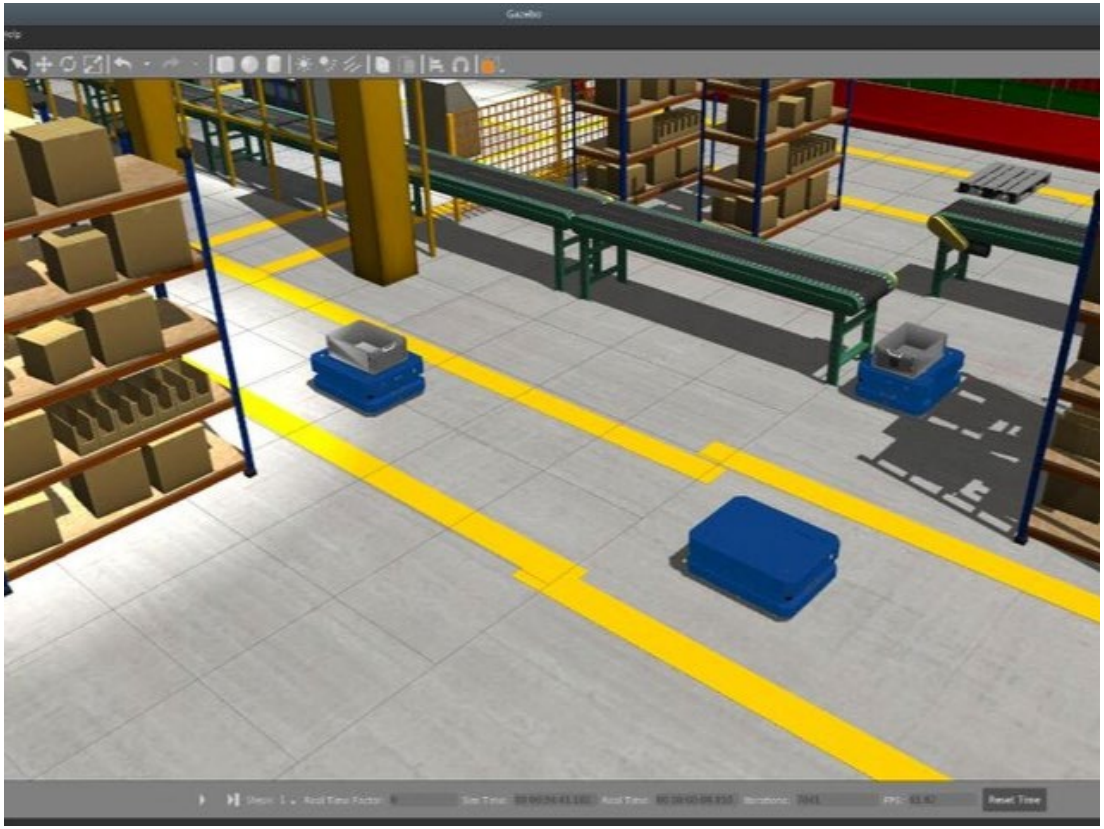


Рис. 1 – Пример визуализации в симуляторе Gazebo

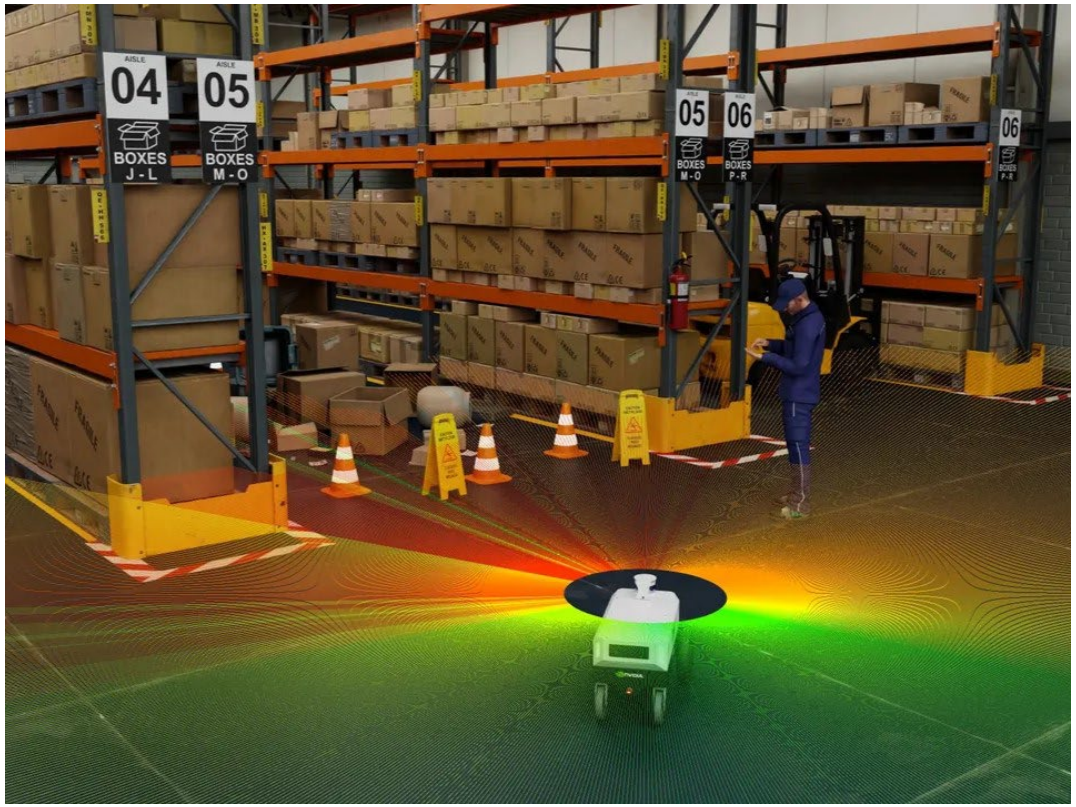


Рис. 2 – Пример визуализации в симуляторе Nvidia Isaac Sim

Рис. 3 – Пример визуализации в симуляторе Unity-ROS

Заключение

По результатам обзора, были определены актуальные программные решения для симуляции мобильных робототехнических комплексов: Gazebo, Unity Robotic Hub, Webots или Nvidia Isaac. Также, были определены условия, при которых следует использовать каждое из рассмотренных решений.

Кроме того, представлена сравнительная таблица, позволяющая более детально ознакомиться с ключевыми особенностями и отличительными характеристиками каждого из этих решений.

В итоге, исходя из проведенного анализа можно сказать, что для систем мобильных робототехнических комплексов со сложным поведением следует использовать Unity ROS или Gazebo.

Конвертоплан для отбора почв

Завалишинские чтения

Голышев Н.Е. – студент кафедры механики, мехатроники и робототехники
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Таблица 1

	GeoDrone XL VTOL	Суперкам SX350	БАС «ДИАМ 12К»
Производитель	Россия	Россия	Россия
Производитель	Российские беспилотники	ОКБ "Авиарешения"	ГК "Геоскан"
База	Летательный	Летательный	Летательный
Время полета	До 90 мин	До 120 мин	До 120 мин
Скорость полета	55-75 км/ч	70 - 120 км/ч	80-90 км/ч
Длина	790 мм	1020 мм	900 мм
Размах крыльев	2122 мм	3200 мм	3000 мм

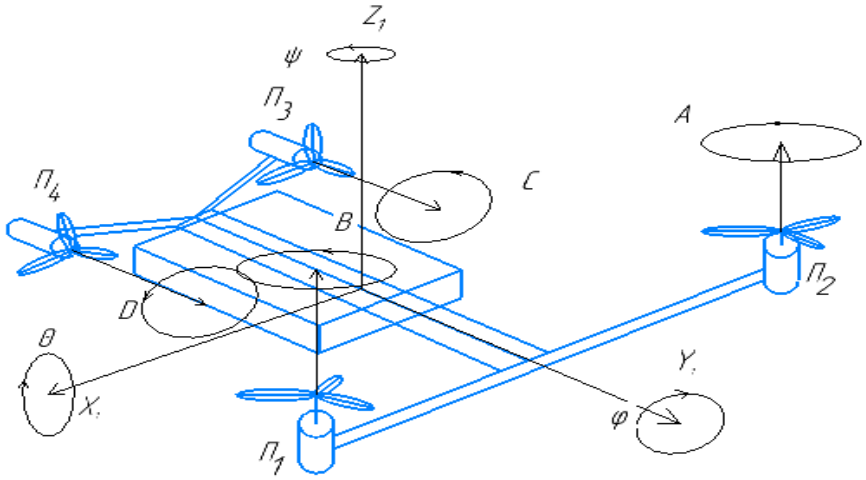


Схема предлагаемого решения П1-3 – пропеллеры; A, B,C,D – направления вращения каждого винта;
φ –угол крена; ψ –угол рысканья ; θ- угол тангажа.

Основные преимущества конвертоплана для отбора почв включают :

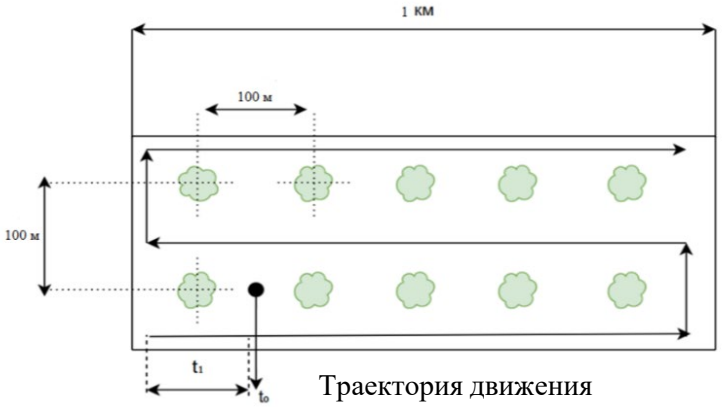
•**Мобильность**: Конвертоплан способен работать в труднодоступных и удаленных районах, где традиционные наземные транспортные средства не могут проехать. Это особенно важно для исследований в горных районах, пустынях и арктических зонах.

•**Высокая эффективность**: Благодаря своей конструкции конвертоплан может быстро перемещаться между точками отбора проб, сокращая время и затраты на проведение исследований.

•**Точность**: Конвертоплан оснащен современными системами навигации и автоматического управления, что позволяет точно позиционировать его над участками отбора проб и осуществлять забор почвенных образцов с минимальными отклонениями.

•**Гибкость**: Многофункциональные сенсоры и инструменты, установленные на конвертоплане, позволяют проводить не только забор почвы, но и измерять различные параметры, такие как влажность, состав почвы и наличие загрязняющих веществ.

•**Экологичность**: Использование электрических двигателей или гибридных систем в конвертопланах снижает выбросы вредных веществ и шумовое загрязнение, что делает их экологически безопасными для проведения исследований в природоохранных зонах.



Траектория движения

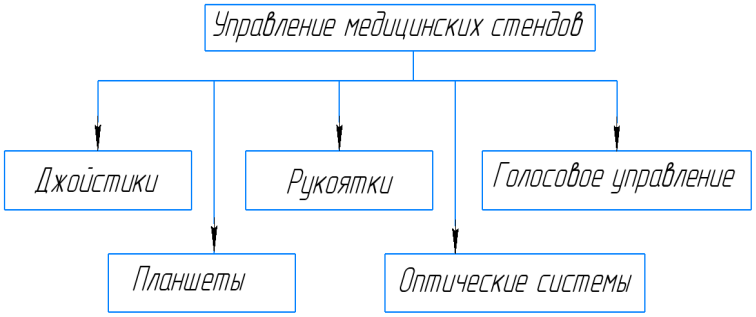
Основные результаты: - Выполнен обзор и анализ существующих решений для сложившейся проблемы; - Предложена схема устройства для решения сложившейся проблемы; - Предложена траектория движения предлагаемого устройства

О разработке активных рукояток системы управления медицинских стендов

Завалишинские чтения

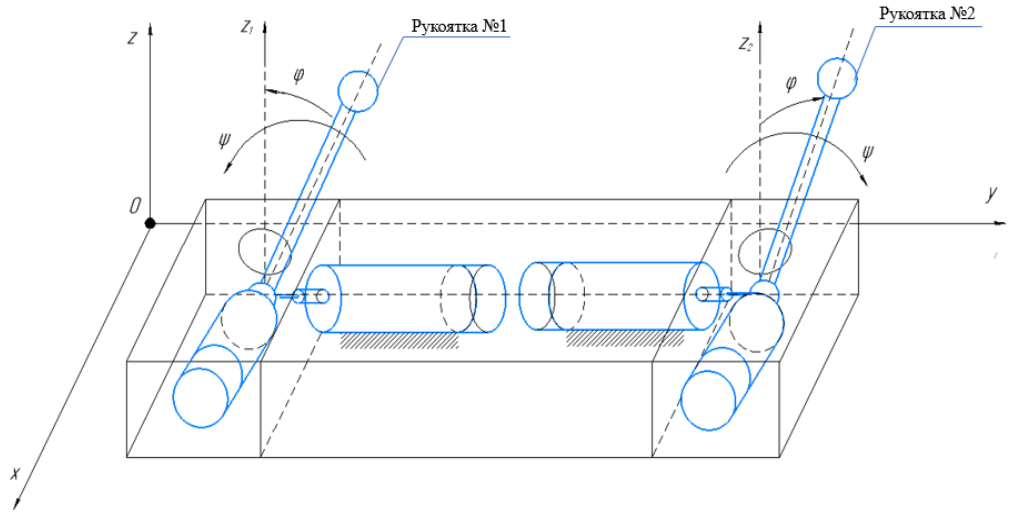
Давидова К.А. – студент кафедры механики, мехатроники и робототехники
ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет»

Классификация управления медицинских стендов



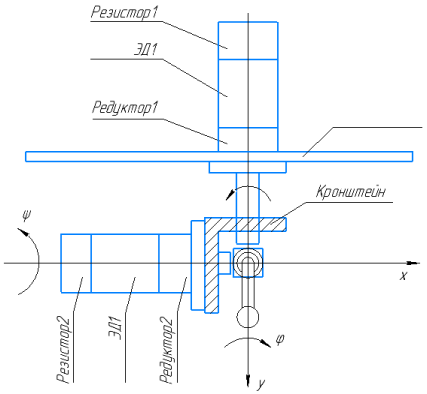
Рукоятки управления Da Vinci от Intuitive

Общая схема активных рукояток управления MC RIRS



Джойстики Ily SterLab

Схема одой рукоятки



Рукоятка принимает угол $\psi \in [-60°; +60°]$ с прикладываемой силой оператора $F_1 \in F_1 \in [-10Н; -2Н] \cup [+10Н; +2Н]$ в плоскости y и угол $\varphi \in [-60°; +60°]$ с прикладываемой силой оператора $F_2 \in F_1 \in [-10Н; -2Н] \cup [+10Н; +2Н]$.

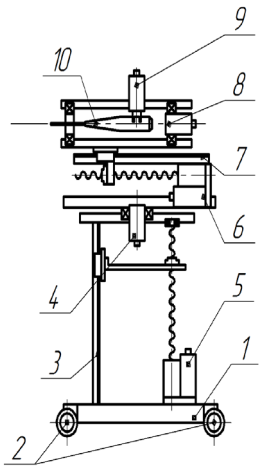
Основные результата: предложена идея модели рукояток для системы управления медицинских стендов

О разработке активных рукояток системы управления медицинских стендов

Завалишинские чтения

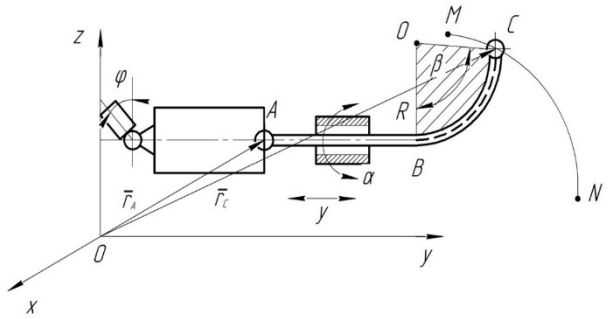
Деревянко Р.В. – студент кафедры механики, мехатроники и робототехники
ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет»

Общая конструкция робота-ассистентта



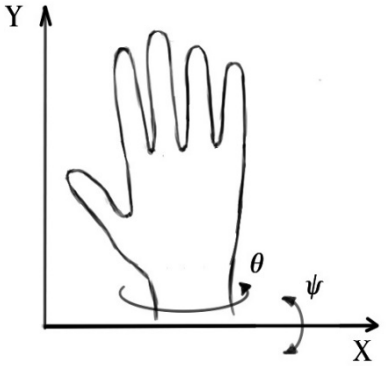
Хирургическая система da Vinci

Кинематическая схема управления эндоскопом



Эндоскоп «PUSEN»

Схема управления перчаткой



Основные результаты: предложена модель робот-ассистирующего комплекса управления эндоскопом.

Разработка программного обеспечения для оптической системы следования за объектом

Завалишинские чтения

Калашников Д.А., Безмен. П.А.
ФГБОУ «Юго-Западный государственный университет»

Отслеживание перемещений объектов является одной из самых часто применяемых задач в робототехнике. В контексте мобильных роботов слежение за объектами чаще всего производится для планирования траектории движения самого робота.

Существует множество различных алгоритмов, позволяющих отслеживать объекты, однако большинство из них требуют сложных вычислений, а также зачастую предназначены для слежения за конкретным типом объектов.

Цель данной работы - разработка программного комплекса оптической системы управления инвалидной коляски, который бы упрощал труд сопровождающего лица при человеке с ОВЗ и процесс реабилитации человека с ОВЗ.

$$\begin{cases} J_o \ddot{\varphi}_l = M_{dl} - 0{,}5 \cdot mg\delta - m\ddot{x}_l r \\ J_o \ddot{\varphi}_r = M_{dr} - 0{,}5 \cdot mg\delta - m\ddot{x}_r r \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ddot{x}_l(y, \theta, y', \theta', l, \Delta t) = \dfrac{\theta' - \theta}{\Delta t} \cdot \left(\dfrac{y' - y}{\cos(\theta)(\cos(\theta' - \theta) + 1) - \sin(\theta' - \theta)\sin(\theta)} - \dfrac{l}{2} \right) \\ \ddot{x}_r(y, \theta, y', \theta', l, \Delta t) = \dfrac{\theta' - \theta}{\Delta t} \cdot \left(\dfrac{y' - y}{\cos(\theta)(\cos(\theta' - \theta) + 1) - \sin(\theta' - \theta)\sin(\theta)} + \dfrac{l}{2} \right) \end{cases}$$

Формула 1. Математическая модель инвалидной коляски

Разработка программного обеспечения для оптической системы следования за объектом

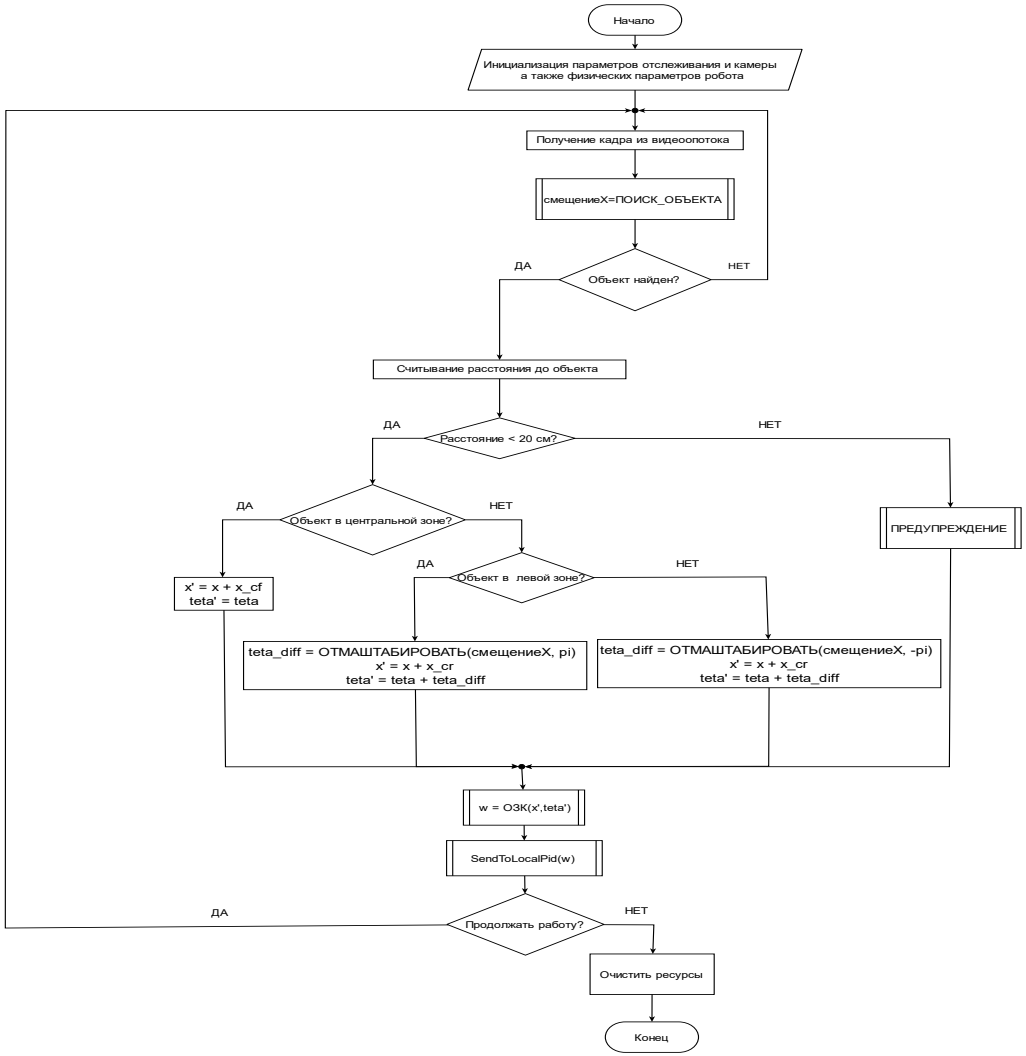


Рис. 1. Блок-схема разработанного алгоритма

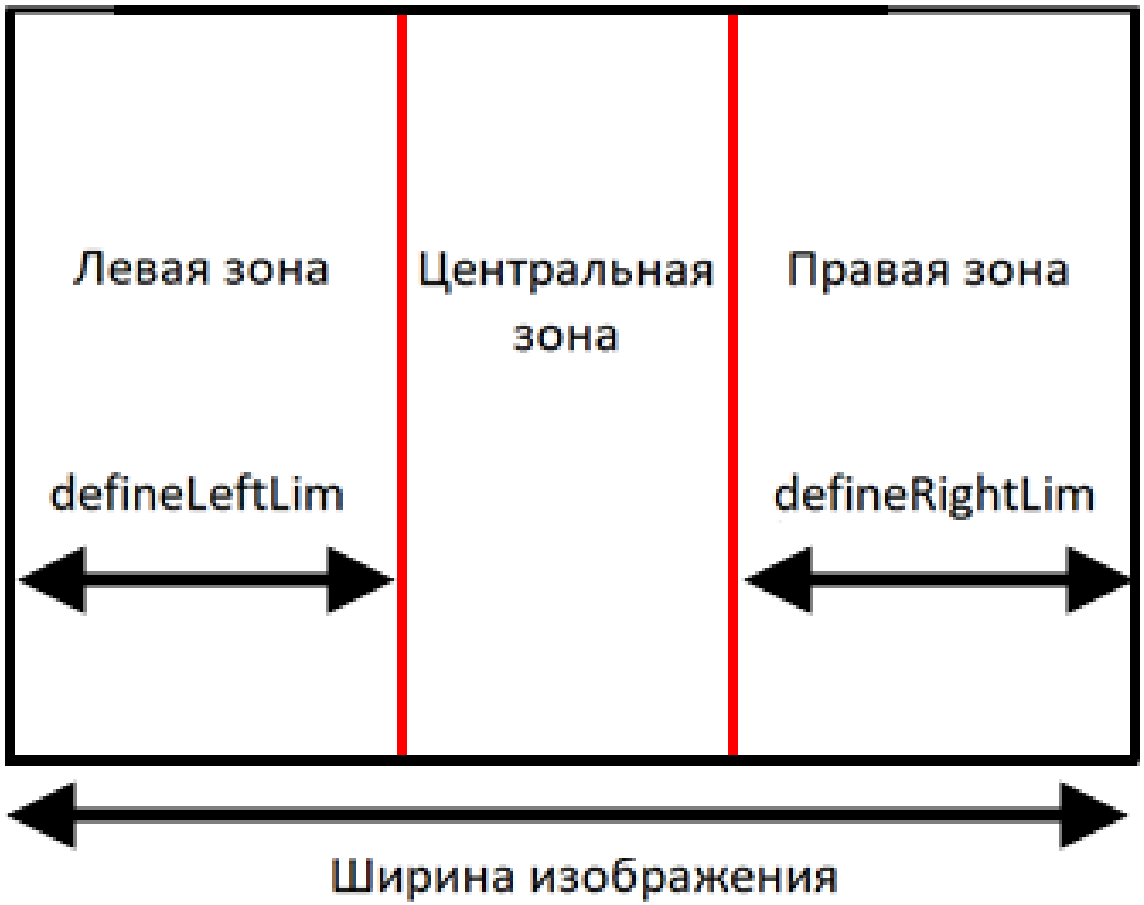


Рис. 2. Разбиение изображения на зоны

Представленный алгоритм позволяет отслеживать перемещения любого объекта с заданной цветовой меткой и управлять движением инвалидной коляски в зависимости от считанного перемещения. По данному алгоритму также создана программная реализация на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV 4.9.

Главным преимуществом разработанного алгоритма является его простота, скорость работы и низкое потребление вычислительных ресурсов, что делает его пригодным для применения в роботизированных инвалидных колясках. Система с таким алгоритмом очень нужна именно в инвалидных колясках, она позволит человеку с ОВЗ меньше зависеть от сопровождающего при самостоятельном передвижении, или же облегчит работу сопровождающего, ведь он просто будет идти перед коляской, задавая ей траекторию движения, а не катить коляску своими силами.

Авторы: Карабанов Г. С., Крахмалев О. Н.
Организация: Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»

Доклад на тему: «**Разработка алгоритма для решения обратной задачи кинематики манипуляционных систем робота с использованием метода оптимизации роя частиц**»

Геометрическая модель

Геометрическая модель манипуляционных систем (МС) роботов – математическая модель, позволяющая определить положение МС роботов в абсолютной системе координат.

Для определения положения МС роботов в пространстве используется метод двух связанных систем координат.

Движение манипуляционной системы рассматривается в инерциальной системе координат, жёстко связанной с её основанием (Рис.1).

Положение МС роботов в пространстве может быть определено с помощью матриц преобразования однородных координат размерностью (4×4).

Неизменяющиеся геометрические массивы, отражающие взаимное расположение систем координат, расположенных в начале и конце одного звена:

$$A_{i,i^*} = \begin{bmatrix} \cos(X_i, X_{i^*}) & \cos(X_i, Y_{i^*}) & \cos(X_i, Z_{i^*}) & l_{xi} \\ \cos(Y_i, X_{i^*}) & \cos(Y_i, Y_{i^*}) & \cos(Y_i, Z_{i^*}) & l_{yi} \\ \cos(Z_i, X_{i^*}) & \cos(Z_i, Y_{i^*}) & \cos(Z_i, Z_{i^*}) & l_{zi} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (1)$$

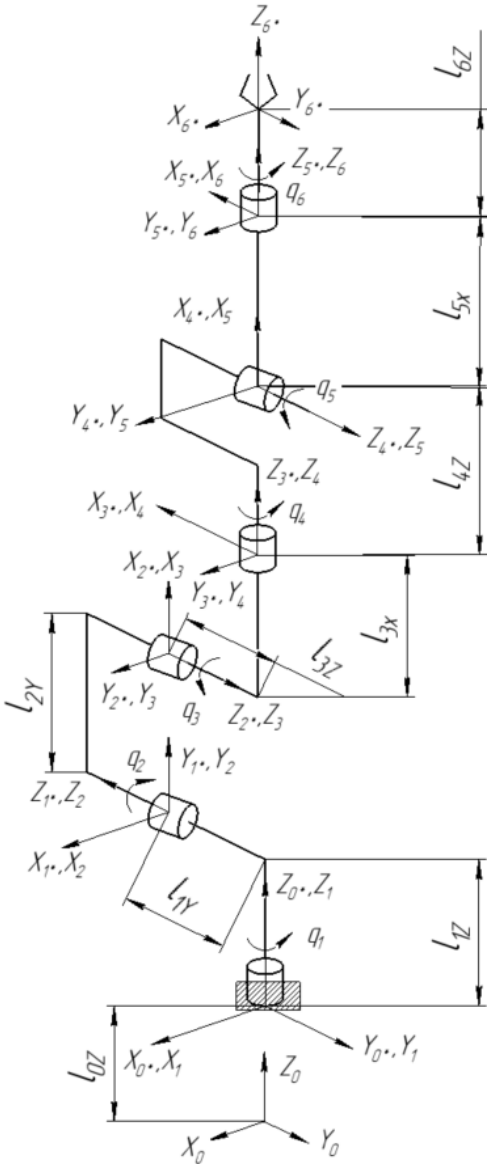


Рис. 1. Кинематическая схема

Геометрическая модель

Так как за ось относительного движения i-го и (i-1)-го звеньев выбрана ось Z_i, изменяющиеся геометрические массивы имеют вид:

$$A_{(i-1)^*,i} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_i, q_i) & -\sin(\beta_i, q_i) & 0 & 0 \\ \sin(\beta_i, q_i) & \cos(\beta_i, q_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & (1-\beta_i)q_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, (2)$$

где $\beta_i = \begin{cases} 1, \text{если } i - \text{я кинематическая пара } - \text{вращательная;} \\ 0, \text{если поступательная.} \end{cases}$

Матрица $A_{(i-1),i}$, определяющая относительное положение двух соседних звеньев представляет собой произведение неизменяющихся и изменяющихся геометрических массивов:

$$A_{(i-1),i} = A_{(i-1),(i-1)^*} \cdot A_{(i-1)^*,i}. (3)$$

Матрица преобразования однородных координат из локальной системы, связанной с k-м звеном, в абсолютную систему координат представляет собой последовательность произведений матриц $A_{(i-1),i}$, где i = (1, …, k):

$$A_{0,k} = \prod_{i=1}^{k} A_{(i-1),i}\,. (4)$$

Соответственно, $A_{0,6^*} = A_{0,6} A_{6,6^*}$.

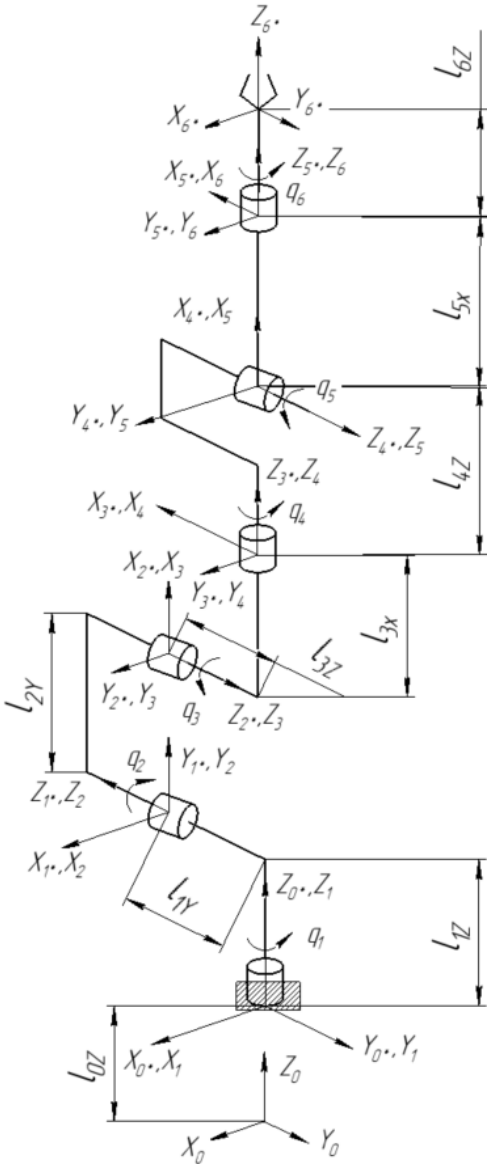


Рис. 1. Кинематическая схема

Метод роя частиц

В алгоритме оптимизации роя частиц (ОРЧ) во время каждой итерации значение целевой функции каждой особи вычисляется, и обновляется локальное наилучшее положение каждой частицы (*lbest*) на основе массива локальных лучших решений, а также глобальное наилучшее положение (*gbest*) всего роя частиц на основе позиций всех частиц за всё время работы алгоритма. Эти обновления помогают частицам найти глобальный оптимум.

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1 r_{1i}(lbest_i - x_i(t)) + c_2 r_{2i}(gbest_i - x_i(t)); (5)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1), (6)$$

где t – текущий шаг алгоритма, v_i и x_i представляют собой скорость движения к лучшему решению (приращение) i-й обобщённой координаты и i-ю обобщённую координату соответственно, w представляет собой инерционный весовой коэффициент, определяющий степень зависимости скорости на следующем шаге алгоритма от скорости на предыдущем шаге, c_1 и c_2 – факторы самообучения и социального обучения соответственно, r_{1i} и r_{2i} – случайные параметры для i-й обобщённой координаты, которые выбираются с помощью равномерного распределения в интервале (0, 1).

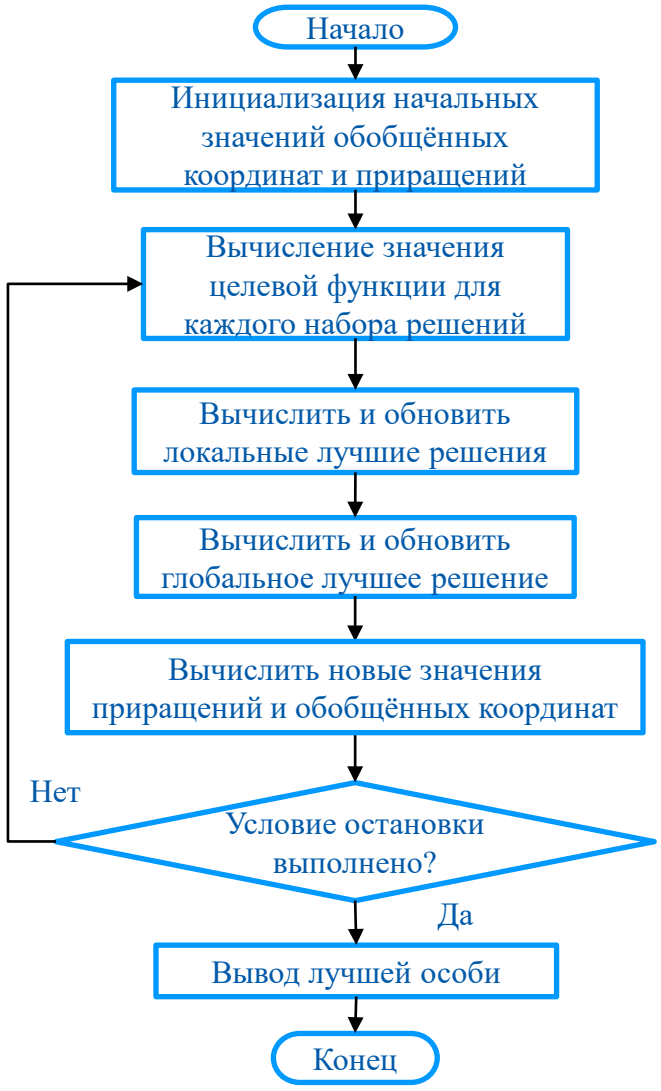


Рис. 2. Схема алгоритма оптимизации роя частиц

Выбор целевой функции

1. Сумма квадратов погрешностей относительно заданного положения

$$F\left(\{X_{target}\},\{X_{current}\}\right)=\sum_{i=1}^{6}\left(\left(x_{target\,i}-x_{current\,i}\right)/x_{target\,i}\right)^2 \quad (7)$$

2. Корень из суммы квадратов погрешностей относительно заданного положения

$$F\left(\{X_{target}\},\{X_{current}\}\right)=\sqrt{\sum_{i=1}^{6}\left(\left(x_{target\,i}-x_{current\,i}\right)/x_{targeti}\right)^2} \quad (8)$$

3. Сумма квадратов погрешностей относительно заданной точности

$$F\left(\{X_{target}\},\{X_{current}\},\{E\}\right)=\sum_{i=1}^{6}\left(\left(x_{target\,i}-x_{current\,i}\right)/e_i\right)^2 \quad (9)$$

4. Корень из суммы квадратов погрешностей относительно заданной точности

$$F\left(\{X_{target}\},\{X_{current}\},\{E\}\right)=\sqrt{\sum_{i=1}^{6}\left(\left(x_{target\,i}-x_{current\,i}\right)/e_i\right)^2} \quad (10)$$

Результаты моделирования

Испытания разработанной по алгоритму программы проводились на виртуальной операционной системе Ubuntu 20.04, установленной на ПК с процессором Intel Core i7-12700H. Для алгоритма ОРЧ, для каждой целевой функции было проведено 100 испытаний при размере популяции в 25 особей и максимальном количестве шагов итерации равном 500. Допустимая погрешность по положению = 0,33 мм, по ориентации - 0,001 рад для каждой координаты РО. Опытным путём были подобраны коэффициенты $w = 0{,}729$, $c_1 = c_2 = 1{,}49$, $v_{start} = 0$.

Табл. 1. Результаты решения ОЗК МС робота алгоритмом ОРЧ.

Номер используемой целевой функции	Суммарная средняя погрешность по положению, мм	Суммарная средняя погрешность по ориентации, рад	Время выполнения алгоритма, мс
(7)	0,37	0,0014	137,2
(8)	3,85	0,013	137,45
(9)	0,79	0,0023	138,03
(10)	1,4	0,0024	138,9

Результаты моделирования

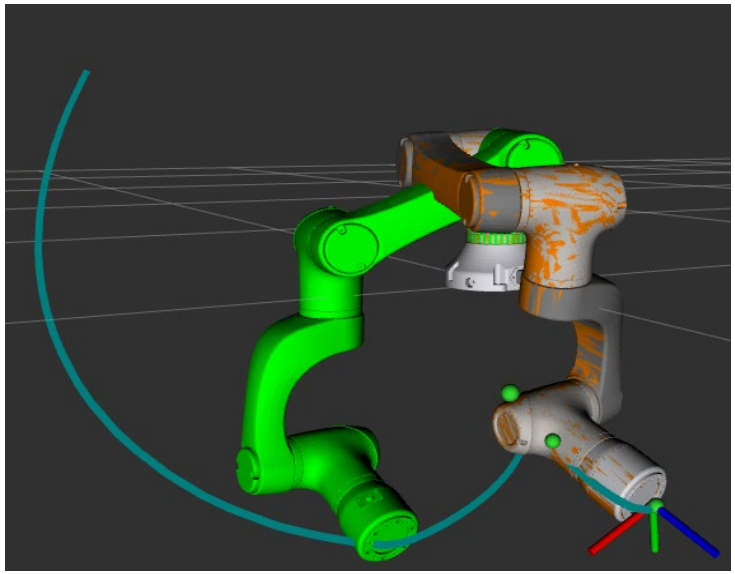


Рис. 3. Визуализация 1-й точки

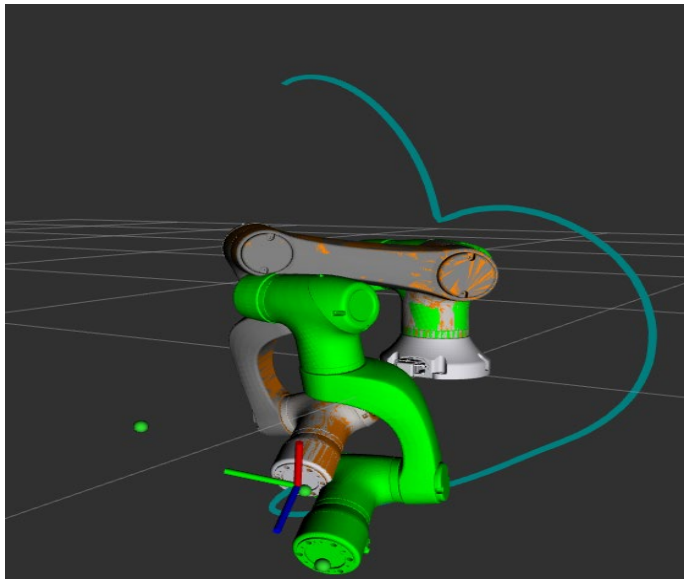


Рис. 4. Визуализация 2-й точки

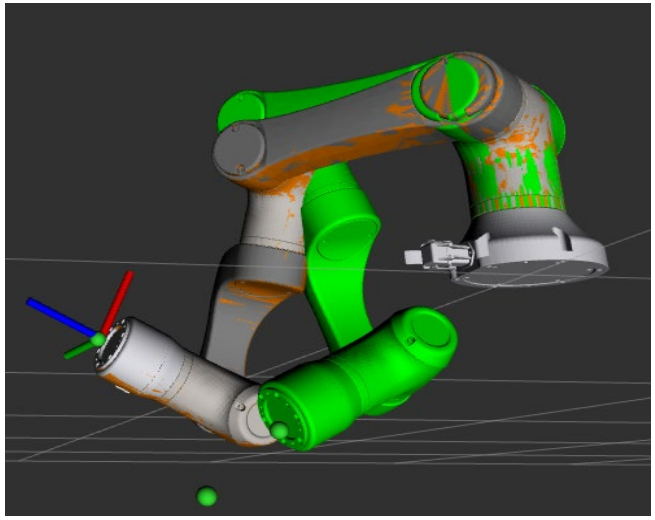


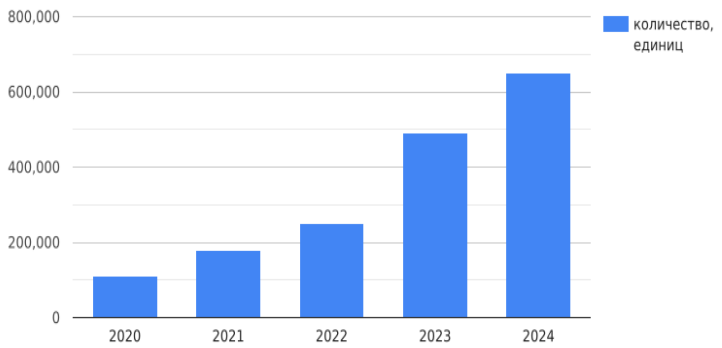
Рис. 5. Визуализация 3-й точки

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

К вопросу роботизации агроиндустрии в России

Завалишинские чтения

Климова А.Р. – студент кафедры механики, мехатроники и робототехники
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»



Зависимость количества роботов на предприятиях

Таблица 1

	DJI Agras T30	АГРОБОТ	BoniRob
Производитель	Китай	Россия	Германия
Производитель	DJI	Открытая робототехника	Bosch
База	Летательный	Колесный	Колесный
Мощность	7 кВт	2,5 кВт	3 кВт
Время автономной работы	20.5 мин	2 ч	8 ч
Скорость	5 м/с	1 м/с	1 м/с
Доступность в России	Высокая, 1700 000р	Массово не производится	Не поставляется в Россию

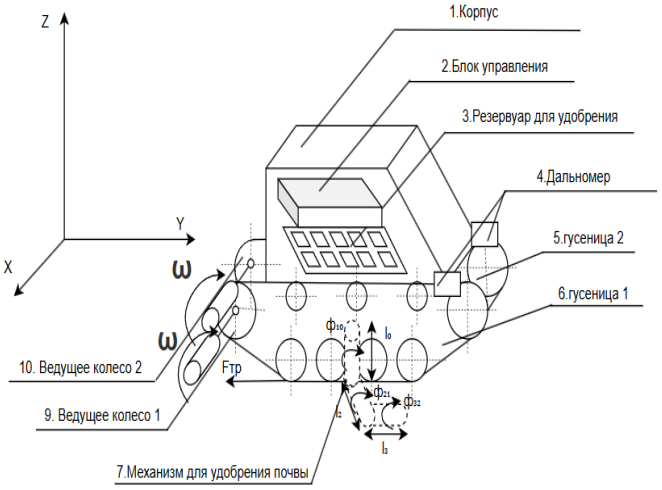
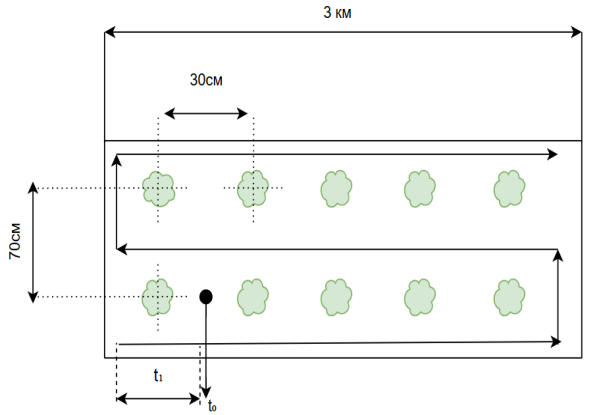


Схема предлагаемого решения



Траектория движения робота по полю

Основные результаты:

- Выполнен обзор и анализ существующих решений для сложившейся проблемы
- Предложена схема устройства для решения сложившейся проблемы
- Предложена траектория движения предлагаемого устройства

Грузовой беспилотный конвертоплан

Завалишинские чтения

К. А. Лукьянов, А. А. Сиротенко -– студенты кафедры механики, мехатроники и робототехники
ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет»

Основные результаты:
1.Выполнен обзор существующих конструкций
2.Разработана схема устройства робота
3.Разработана многоканальная схема системы автоматического управления

	Д-20К	Д-12К	Эра-41
Полезная нагрузки	5 кг	1.5 кг	0.8 кг
Крейсерская скорость	80–90 км/ч	80-90 км/ч	85 км/ч
Максимальное время полета	6 ч	1.5 ч	2 ч
Дальность управления	800 км	100 км	170 км
Применение	Мониторинг, сбор данных, доставка	Мониторинг, сбор данных, доставка	Мониторинг, доставка

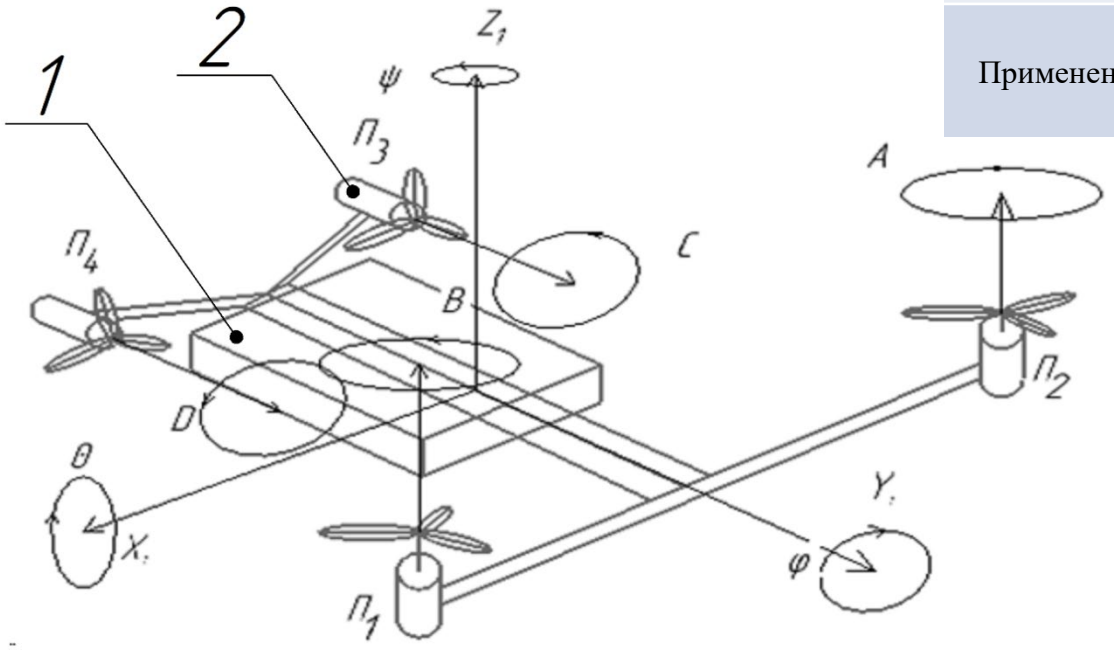
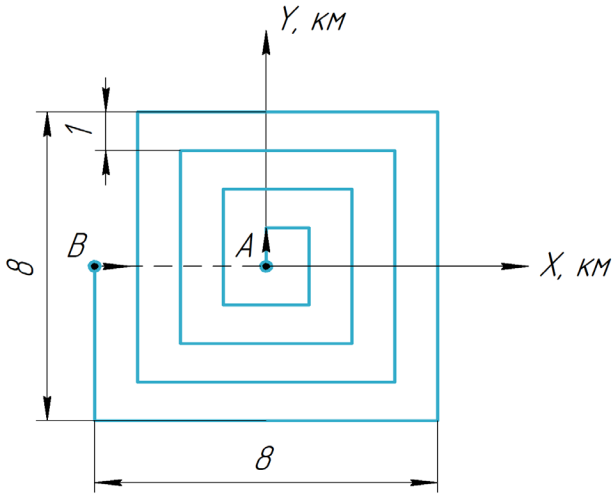


Схема устройства: 1 – Корпус, 2 – Винт , П1-4 – Приводы винтов

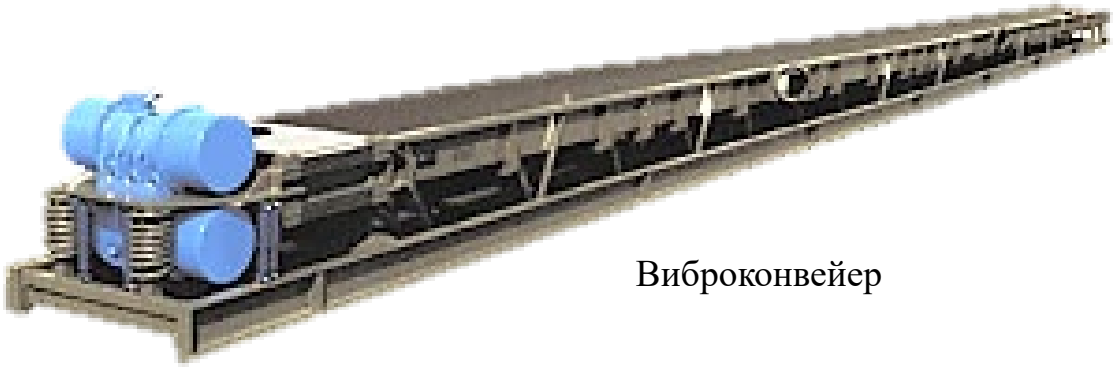


Численное моделирование взаимодействия рабочего органа вибрационной машины с сыпучей средой

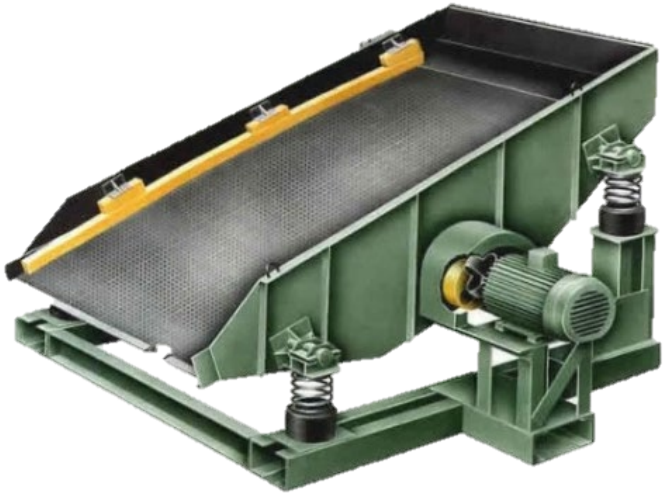
Автор:
к.т.н. Лян Илья Павлович
Организация:
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
лаборатория вибромеханики
под руководством д.т.н., проф., Г.Я. Пановко

➢ ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вибрационные транспортно-технологические машины с дебалансными вибровозбудителями на основе асинхронных электродвигателей.



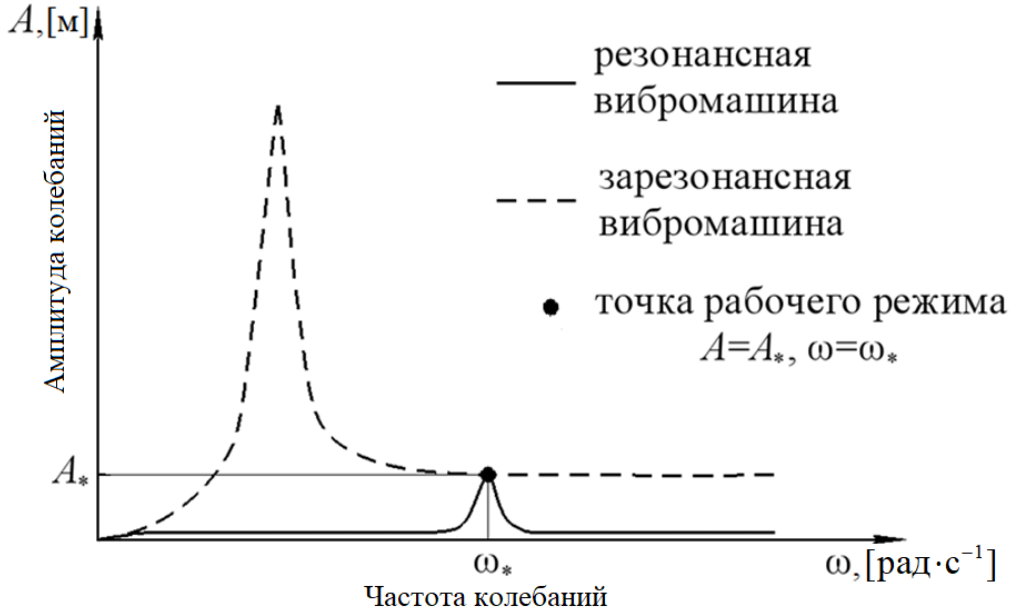
Виброконвейер



Виброгрохот

Вибоподъемник

➢ РЕЗОНАНСНЫЙ РЕЖИМ КОЛЕБАНИЙ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН



Преимущества:

Высокая энергоэффективность

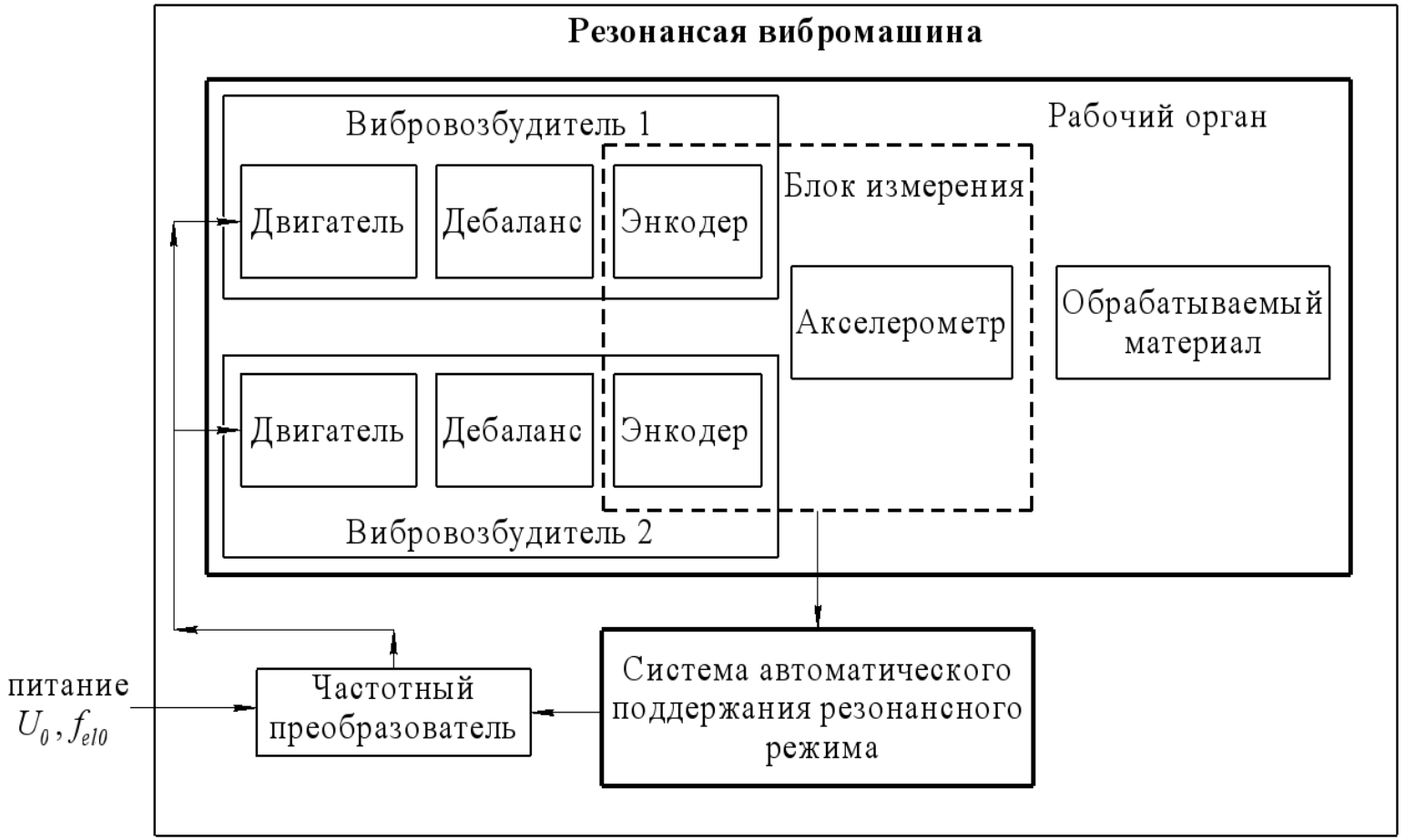
- расчетная потребляемая электрическая мощность существенно меньше по сравнению с зарезонансным режимом работы;
- снижение требуемой массы дебалансов и снижение мощности электропривода; работа двигателя происходит в номинальном режиме.

Недостатки:

Неустойчивость рабочего режима

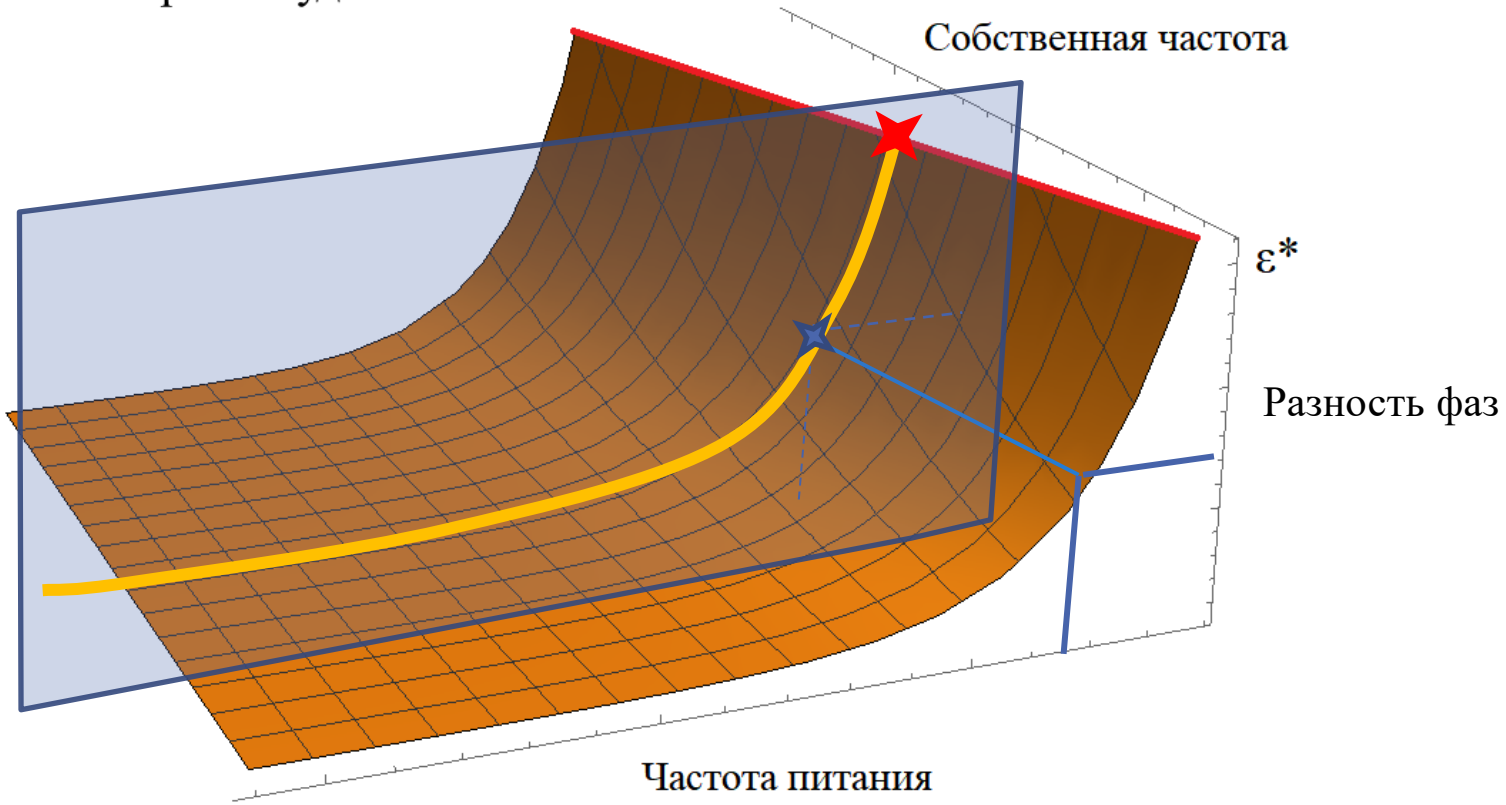
- требуется система настройки и поддержания резонансного режима работы при изменении параметров обрабатываемого материала.

➢ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕЗОНАНСНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ МАШИНЫ



Использование динамического портрета вибромашины

Динамический портрет – расчетная зависимость разности фаз ε между вынуждающей силой и колебаниями рабочего органа от массы обрабатываемого материала (собственной частоты системы) и частоты питания вибровозбудителей.



➢ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Уравнения движения

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = \mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$$

$$\mathbf{q}^T = \begin{pmatrix} x & y & z & \alpha & \beta & \gamma & \varphi_1 & \varphi_2 \end{pmatrix}$$

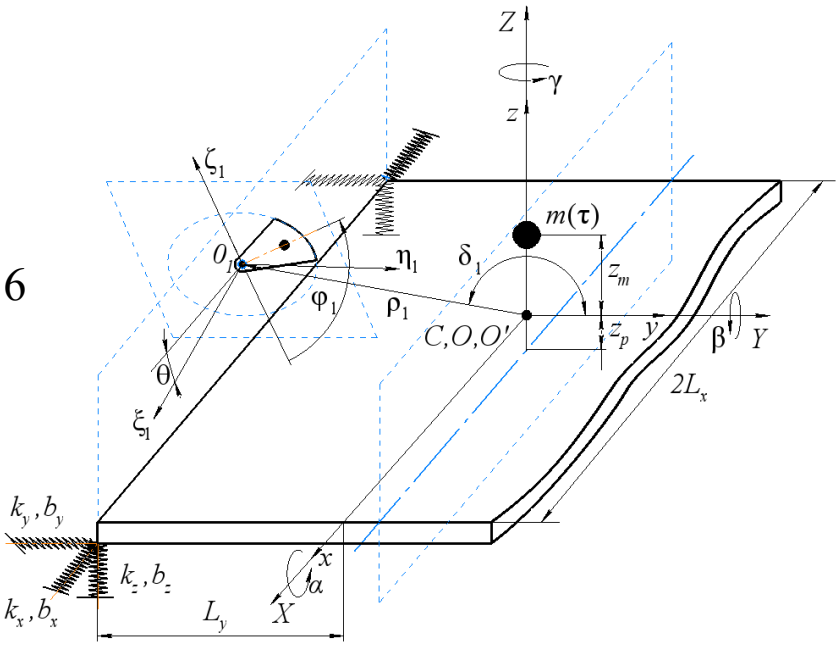
$$q_j = q_j\left(\varphi_i, \dot{\varphi}_i, t\right);\ \varphi_i = \varphi_i\left(U, f_{el}, q_j, t\right);\ i = 1,2;\ j = 1...6$$

В математической модели масса обрабатываемого материала медленно изменяется во времени и моделируется **сосредоточенной «присоединенной» массой** $m_g(t)$ с координатами:

$$x_m(t) = y_m(t) = 0;\quad z_m(t) = \frac{m_g(t)}{8\rho L_x L_y}$$

ρ – насыпная плотность обрабатываемого материала

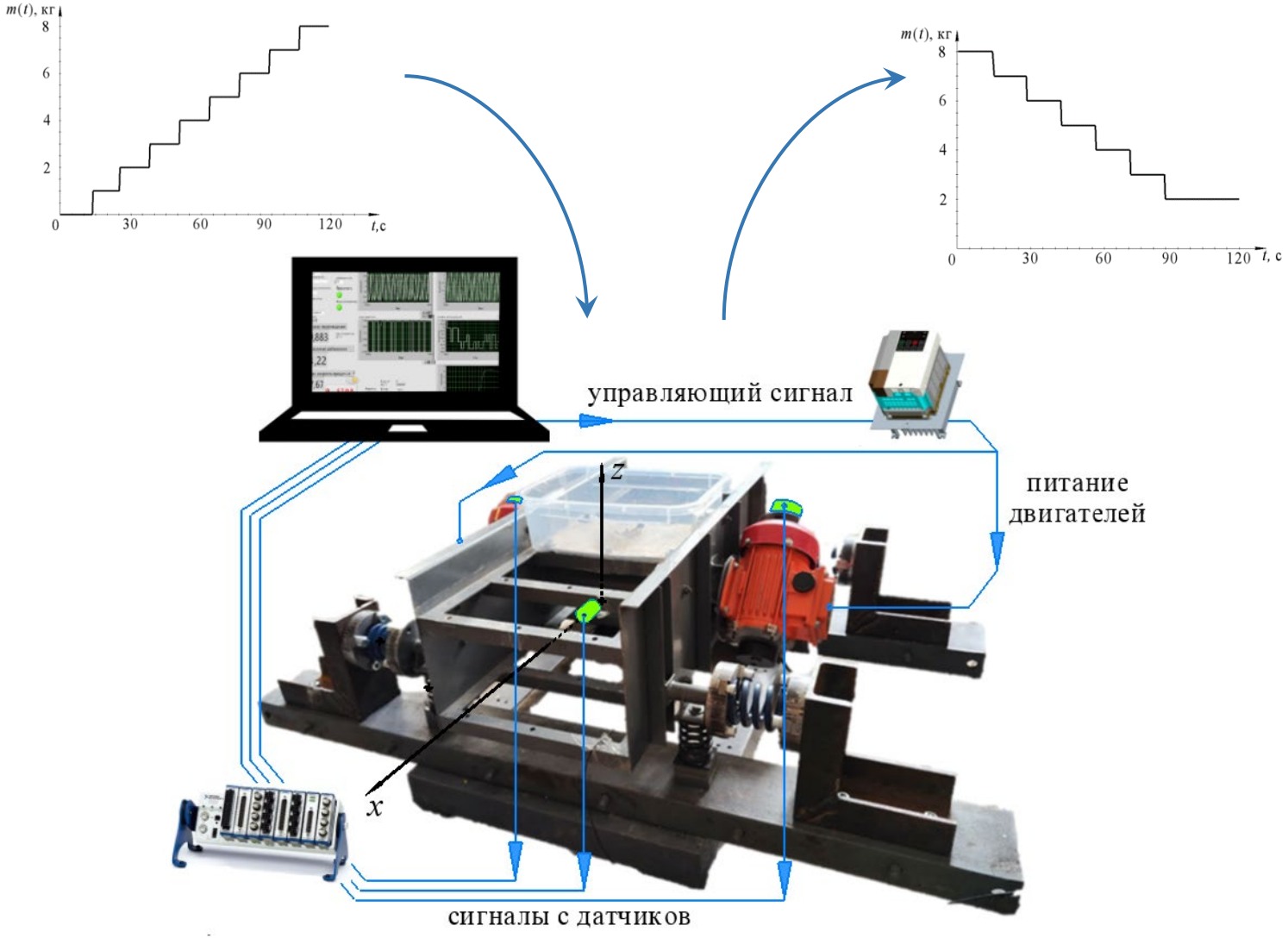
Расчетная схема



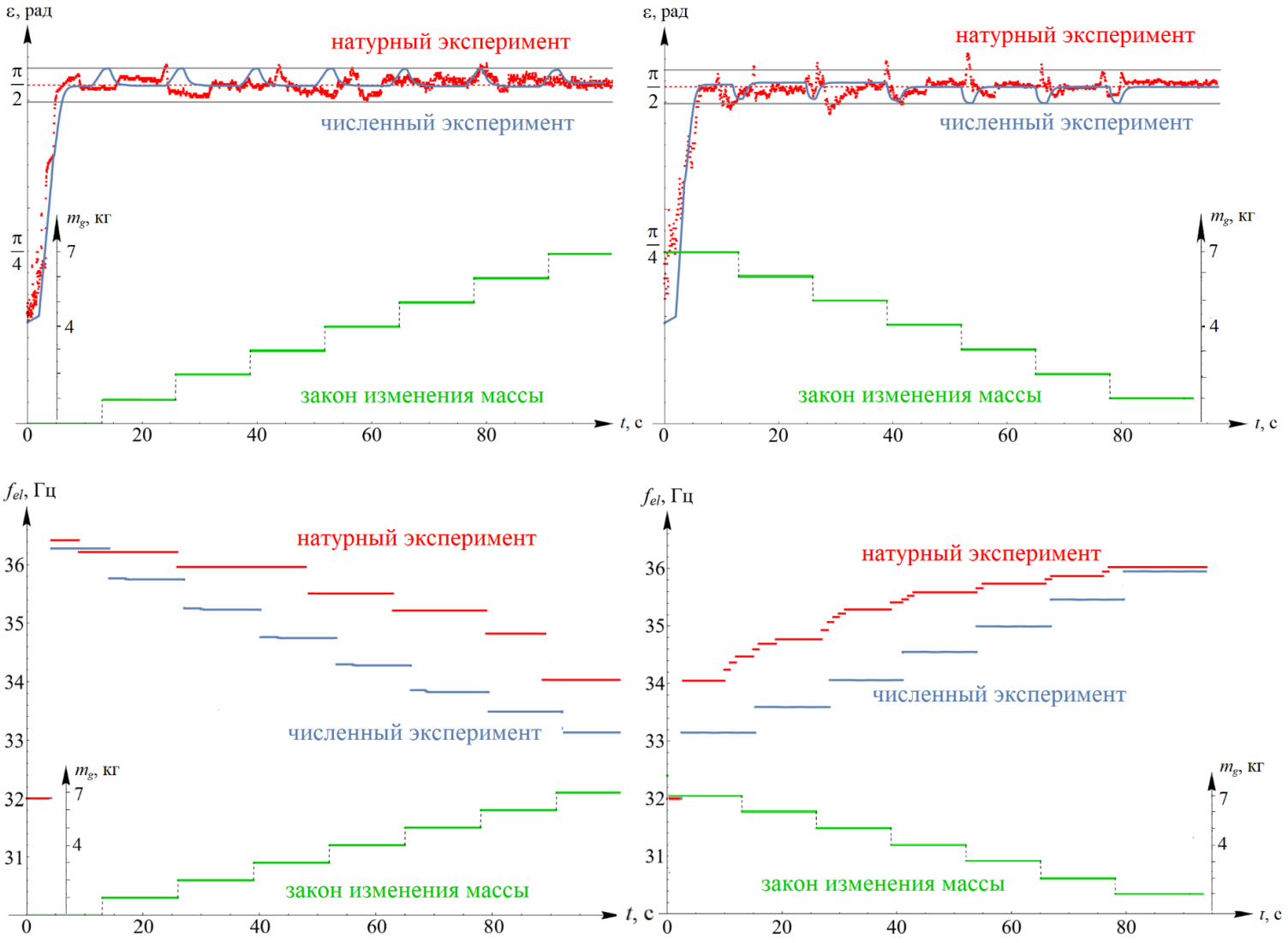
Моментная характеристика двигателей

$$M(\dot{\varphi}_i) = \frac{2M_{Cr}\left(\omega_s - \omega_{Cr}\right)\left(\pi f - \dot{\varphi}_i - \Delta\omega\right)}{\left(\pi f - \dot{\varphi}_i - \Delta\omega\right)^2 + \left(\omega_s - \omega_{Cr}\right)^2},$$

➢ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ



➢ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО И НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА



➢ ГИПОТЕЗА

Наблюдаемое в численных и натурных экспериментах отличие частоты питания вибровозбудителей возникает результате отличия веса материала в состоянии покоя от усредненного за период колебаний веса материала на рабочем органе при его вибрации.

➢ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создание математической модели слоя сыпучего обрабатываемого материала, не требующей переопределения параметров при изменяющихся параметрах вибрации для дальнейшего использования при совершенствовании алгоритмов настройки и поддержания резонансного режима вибрационных машин.

➢ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Разработка математической модели слоя сыпучего материала и рабочего органа.
- Вычисление суммарной силы реакции рабочего органа при взаимодействии со слоем сыпучего обрабатываемого материла при различных параметрах вибрации.

➢ МОДЕЛЬ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНЫХ ЧАСТИЦ

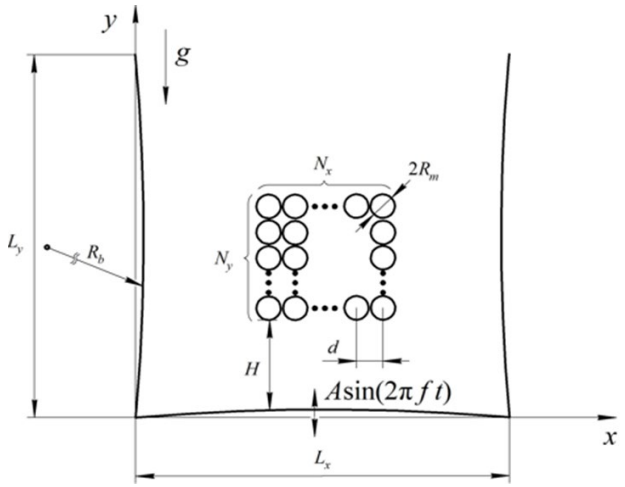
Материал среды представляется совокупностью *N* упругих частиц.

Каждая частица имеет:

- в двумерном случае: две поступательных и одну вращательную степень свободы;
- В трехмерном случае: три поступательных и три вращательных степеней свободы.

Движение каждой частицы описывается основными уравнениями динамики.

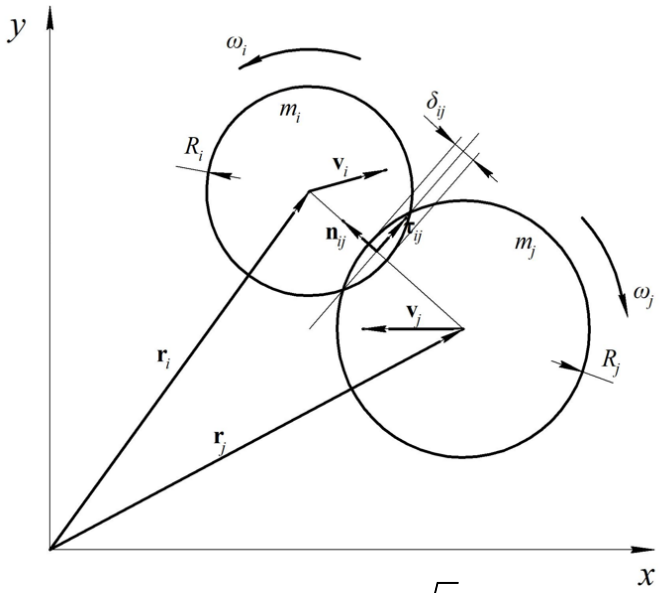
$$\begin{cases} m_i \dfrac{d^2\mathbf{r}_i(t)}{dt^2} = \mathbf{F}_i(t); \\ I_i \dfrac{d^2\boldsymbol{\varphi}_i(t)}{dt^2} = \mathbf{P}_i(t). \end{cases}$$

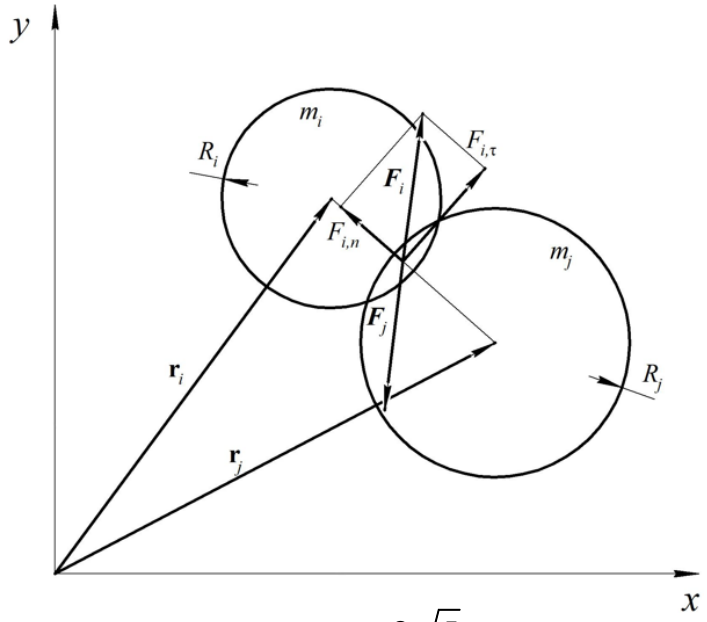


➢ КОНТАКТНЫЕ СИЛЫ

$$\mathbf{F}_i(t) = \sum_{j=1, j\neq i}^{N} \mathbf{F}_{ij,n}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j, \mathbf{v}_i, \mathbf{v}_j, t) + \sum_{j=1, j\neq i}^{N} \mathbf{F}_{ij,\tau}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j, \mathbf{v}_i, \mathbf{v}_j, t) + m_i\mathbf{g}; \quad P_i(t) = R_i \sum_{j=1, j\neq i}^{N} \mathbf{F}_{ij,\tau}\boldsymbol{\tau}_{ij},$$

$$\mathbf{F}_{ij,n} = \begin{cases} 0, \ \delta_{ij} \le 0; \\ (k_{ij,n}\delta_{ij} - \gamma_{ij,n}u_{ij,n})\mathbf{n}_{ij}, \ \delta_{ij} > 0; \end{cases} \qquad \mathbf{F}_{ij,\tau} = \begin{cases} 0, \ \delta_{ij} \le 0; \\ -\text{sign}(u_{ij,\tau}) \cdot \min(|\, k_{ij,\tau}\delta_{ij} - \gamma_{ij,\tau}u_{ij,\tau}\,|, \ \mu_{ij}\,|\,\mathbf{F}_{n,ij}\,|)\boldsymbol{\tau}_{ij}, \ \delta_{ij} > 0. \end{cases}$$





$$k_{ij,\tau} = 8\tilde{G}_{ij}\sqrt{\tilde{R}_{ij}\delta_{ij}}; \quad \gamma_{ij,\tau} = -\frac{2\sqrt{5}}{\sqrt{6}}\beta\sqrt{k_{ij,\tau}\tilde{m}_{ij}}; \quad k_{ij,n} = \frac{4}{3}\tilde{E}_{ij}\sqrt{\tilde{R}_{ij}\delta_{ij}}; \quad \gamma_{ij,n} = -\frac{2\sqrt{5}}{3}\beta\sqrt{k_{ij,n}\tilde{m}_{ij}}; \quad \beta = \frac{\ln \eta_i}{\sqrt{\ln^2 \eta_i + \pi^2}}.$$

$$\tilde{m}_{ij} = \frac{m_i m_j}{m_i + m_j}; \quad \tilde{R}_{ij} = \frac{R_i R_j}{R_i + R_j}; \quad \tilde{E}_{ij} = \frac{E_i E_j}{(1-\nu_i^2)E_j + (1-\nu_j^2)E_i}; \quad \tilde{G}_{ij} = \frac{E_i E_j}{2(2-\nu_i)(1+\nu_i)E_j + 2(2-\nu_j)(1+\nu_j)E_i};$$

➢ АЛГОРИТМ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Массив из N частиц позиционируется в пределах расчетной области, каждой частицы среды определены параметры $\mathbf{q}_{i,0} = \{\mathbf{r}_{i,0}, \mathbf{v}_{i,0}, \varphi_{i,0}, \omega_{i,0}\}$, $\mathbf{f}_{i,0} = \{\mathbf{v}_{i,0}, \mathbf{F}_{i,0}, \omega_{i,0}, 0\}$. При этом для частиц среды $\mathbf{F}_{i,0} = -m_i\mathbf{g}$, для частиц-границ $\mathbf{F}_{i,0} = 0$.

Процедура численного интегрирования полученной системы дифференциальных уравнений в настоящей работе организована на основе метода Адамса-Мултона 4-го порядка с постоянным шагом по времени h.

Этапы интегрирования:

- *Разгон.* Первые три значения $\mathbf{r}_i$, $\mathbf{v}_i$, $\mathbf{F}_i$ для запуска алгоритма вычисляются методом Рунге-Кутты 4-го порядка
- *Расчет каждого шага по времени* состоит производится по алгоритму PEC:
  - на шаге *предиктора* происходит вычисление значений $\hat{\mathbf{q}}_{i,k+1}$ на значениях правых частей, полученных путем экстраполяции;

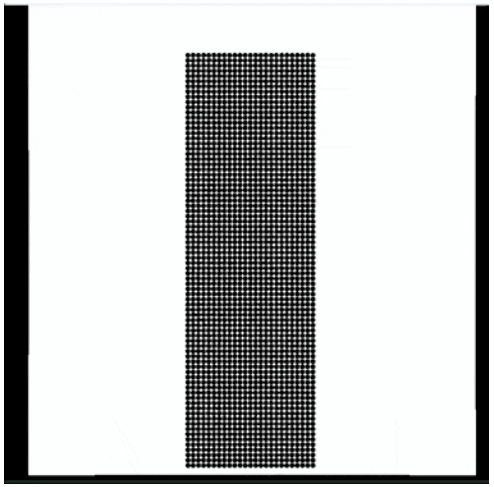
$$\hat{\mathbf{q}}_{i,k+1} = \mathbf{q}_{i,k} + (55\mathbf{f}_{i,k} - 59\mathbf{f}_{i,k-1} + 37\mathbf{f}_{i,k-2} - 9\mathbf{f}_{i,k-3}) \cdot h / 24$$

  - на шаге *вычисления правых частей* определяются значения правых частей, соответствующие значениям, полученным на этапе предиктора;
  - на шаге *корректора* происходит уточнение правых частей полученных значений путем интерполяции;

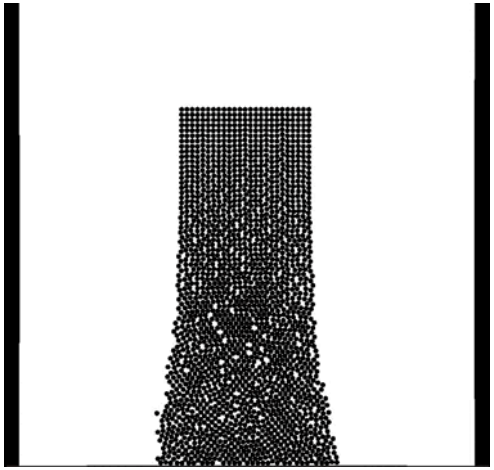
$$\mathbf{q}_{i,k+1} = \mathbf{q}_{i,k} + (9\hat{\mathbf{f}}_{i,k+1} + 19\mathbf{f}_{i,k} - 5\mathbf{f}_{i,k-1} + \mathbf{f}_{i,k-2}) \cdot h / 24$$

  - на заключительном шаге вычисляются значения при значениях которые будут использоваться на следующем шаге предиктора.

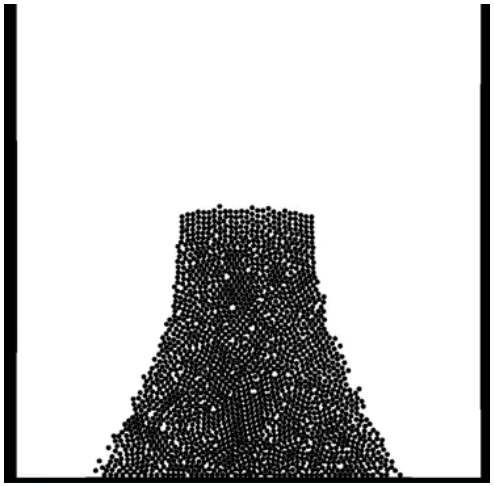
➢ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА



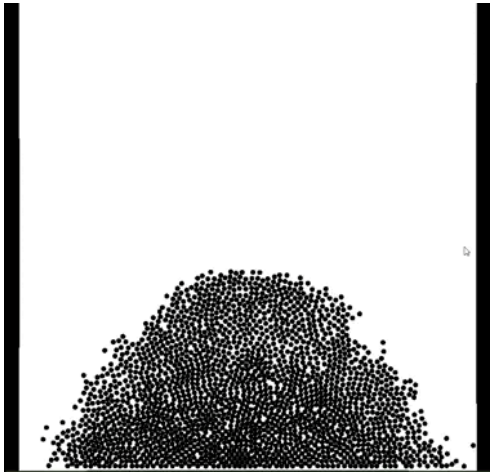
Рассыпание столба без вибрации



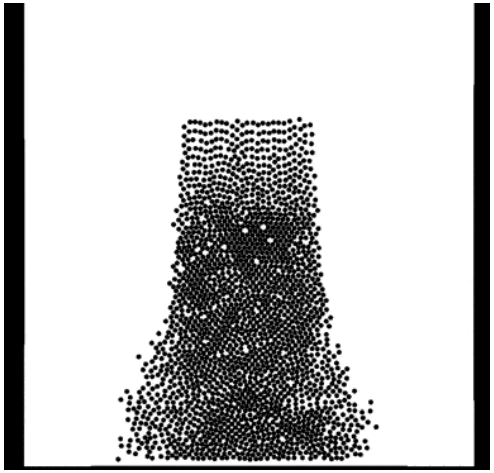
Режим без отрыва от рабочего органа



Режим с отрывом один раз за два периода колебаний

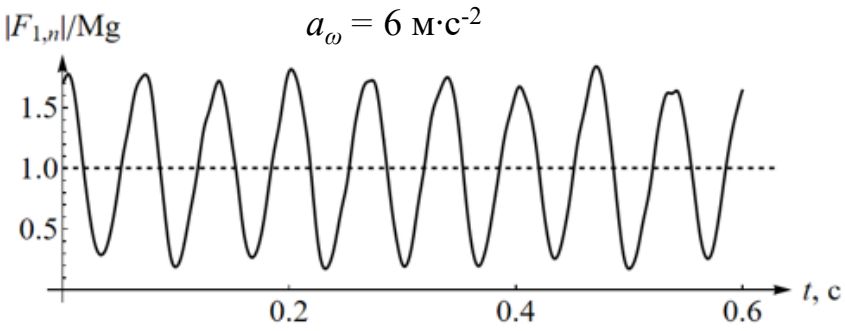


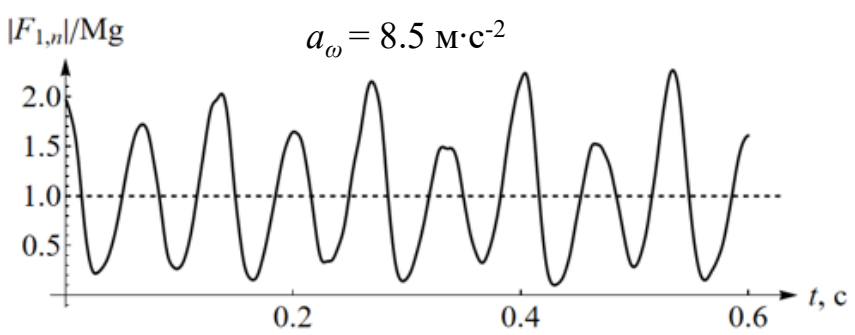
Режим с отрывом от рабочего органа

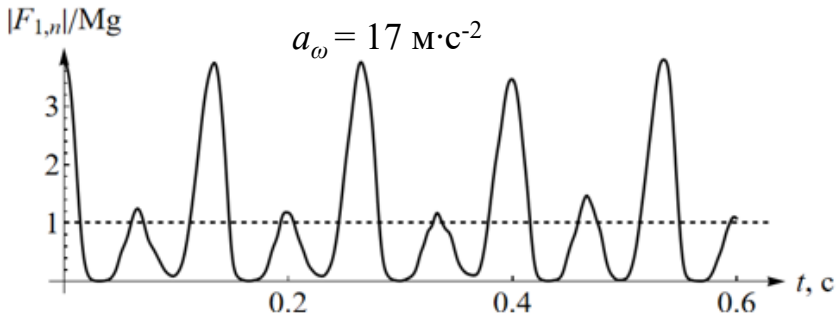


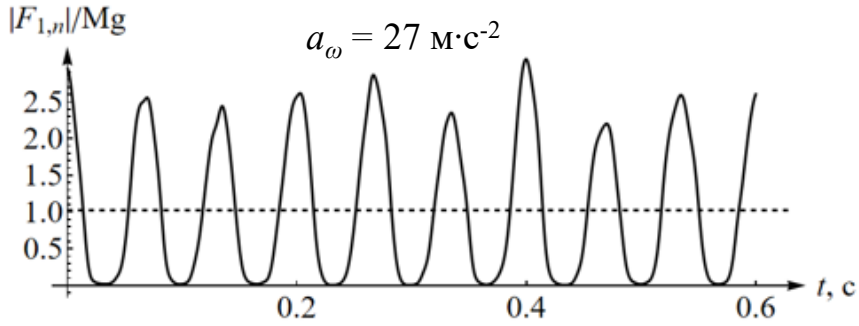
Виброкипение

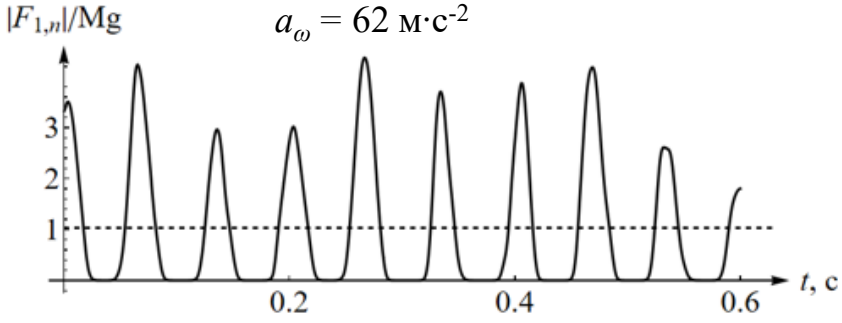
➢ ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СИЛА РЕАКЦИИ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОТ ВРЕМЕНИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ВИБРОУСКОРЕНИЯ

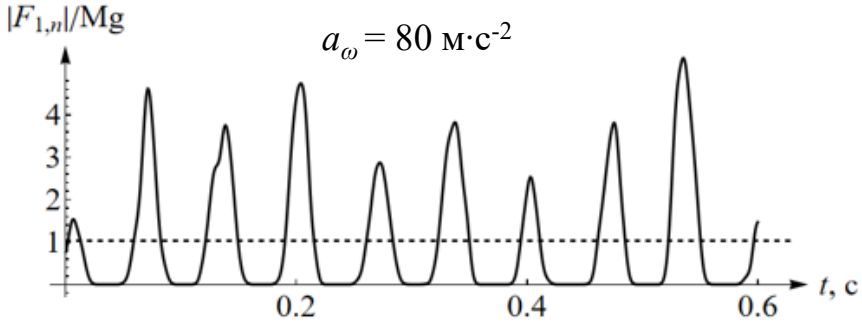


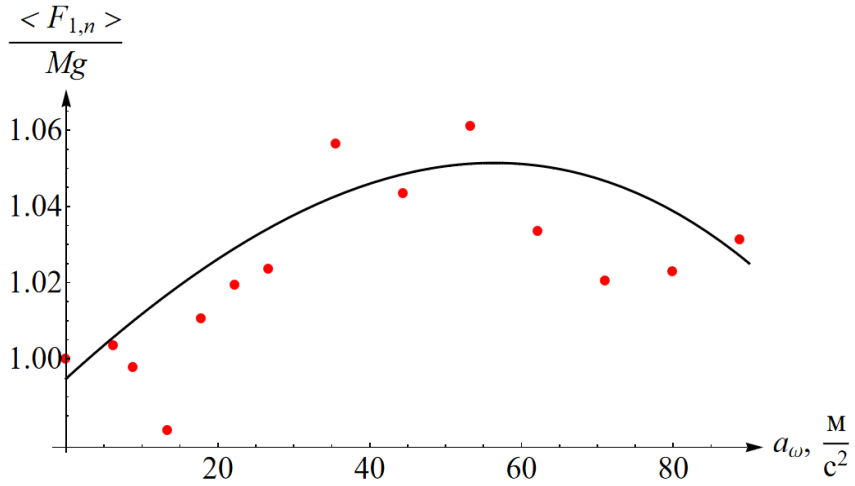






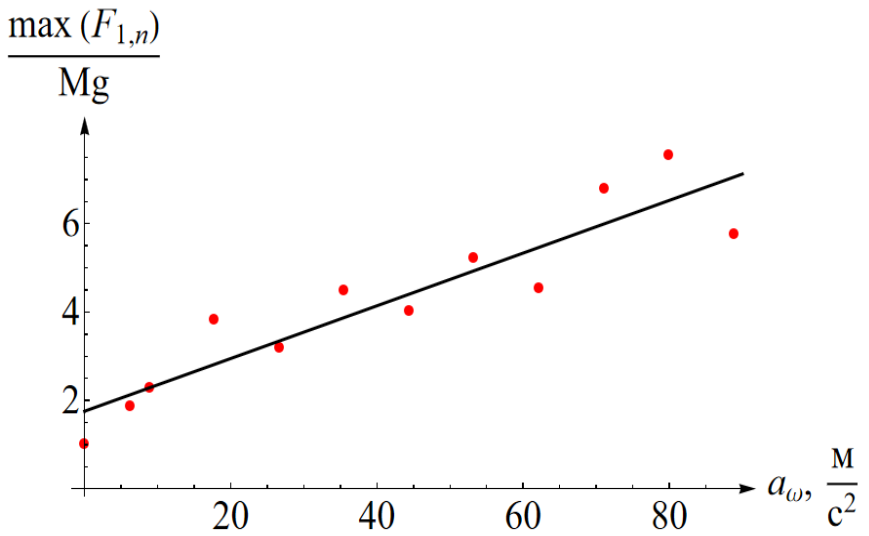






Зависимость средней силы реакции рабочего органа от амплитуды виброускорения.

Зависимость максимальной силы реакции рабочего органа от амплитуды виброускорения.



➢ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

- Создана математическая модель взаимодействия сыпучего обрабатываемого материала и рабочего органа вибромашины на основе метода дискретных элементов.
- С помощью разработанной модели были получены значения сил возникающих при взаимодействии сыпучего материала и рабочего органа вибрационной машины.
- Значение усредненной за 3 периода значений силы реакции нижней границы отличались от статического значения Mg в пределах 7%, что объясняет наблюдаемое при сравнении численных и натурных экспериментов отличие в значении управляющего параметра системы автоматического поддержания резонансного режима.

Спасибо за внимание!

Солнцезащитный уличный автоматизированный зонт

Завалишинские чтения

Марака Ахмад – студент кафедры механики, мехатроники и робототехники
ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет»

Таблица 1

Существующее решения	Преимущества	Недостатки
Автоматический зонт с датчиками освещенности	Позволяет автоматически менять положение зонта в зависимости от солнечного света, высокая точность	Высокая стоимость, сложность в настройке и обслуживании
Зонт с червячным редуктором и электродвигателями	Плавное и точное управление углом наклона и высоты зонта	Необходимость регулярной замены аккумуляторов, высокая цена
Стационарная система	Надежная установка	Сложность установки в другом месте
Зонты с солнечными панелями	Экологически чистое питание, экономия энергии	Ограниченная мощность для больших зонтов, зависит от погодных условий
Отсутствие регулировки уровня зонта	Повышается надежность конструкции поскольку снижается количество соединений	Невозможность регулировки уровня зонта в зависимости от обстоятельств
Складной купол	Компактность, возможность находиться под солнцем не покидая места	Высокая сложность установки солнечных батарей, усложнение конструкции
Роботизированные системы управления зонтом	Высокая точность, возможность интеграции с другими системами	Сложность в настройке и эксплуатации, высокая стоимость

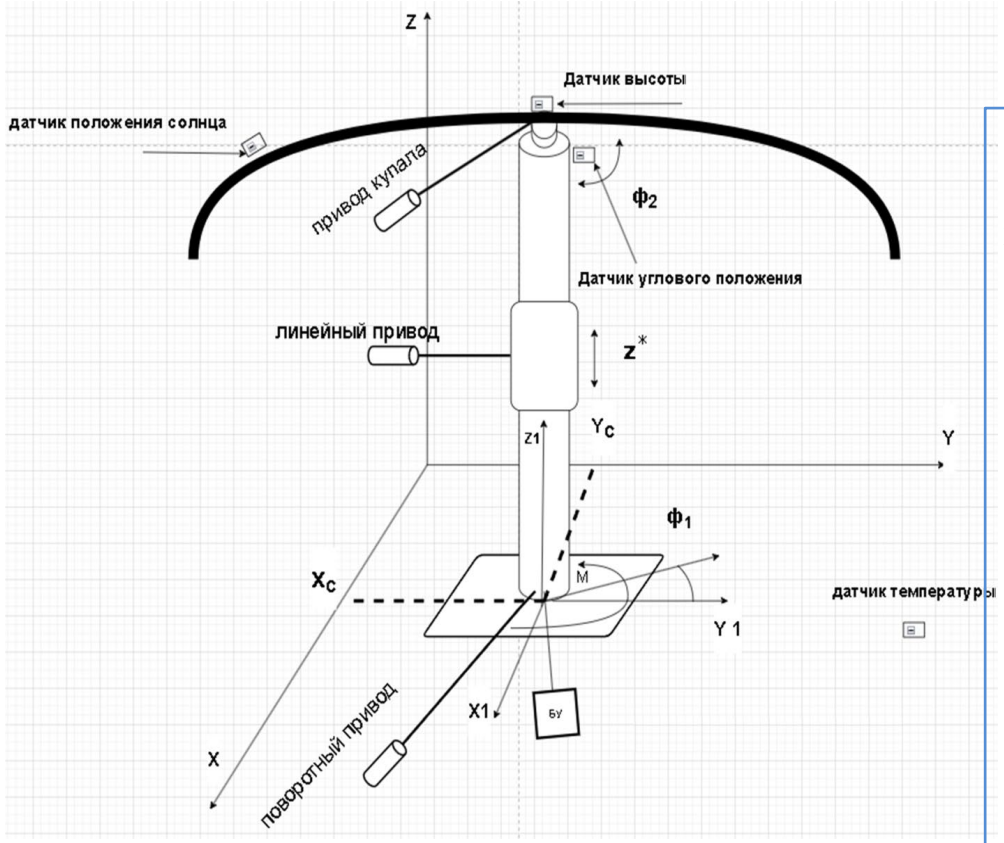


Схема устройства уличного автоматического зонта: x_c _ координата центра основания устройства на ось X; y_c _ координата центра основания устройства на ось У; φ_1 - угол перемещения главной оси; φ_2 - угол перемещения купола; Z^* - изменение перемещения основания; БУ - блок управления.

Принцип работы предлагаемого устройства следующий: купол зонта устанавливается на необходимом уровне, с возможностью регулировки высоты расположения, при помощи линейного привода. Далее, в зависимости от положения солнце на небосводе, которое определяется датчиками, происходит изменения угла наклона купола зонта при помощи сервоприводов . При необходимости устройство может поворачиваться вокруг своей оси. Все электронные и электромеханические компоненты питаются от расположенных на куполе солнечных батарей, энергия с которых также может запасаться в накопителе для её дальнейшего использования, зарядки гаджетов, например.

Преимущества предлагаемого решения заключаются с следующем:

-Экологичность
-Повышение комфорта
-Экономия энергии
-Устойчивость и надежность

Предложен проект устройства солнцезащитного автоматизированного уличного зонта и описан принцип его работы

Бионический летающий робот

Завалишинские чтения

А. А. Сиротенко, К. А. Лукьянов– студенты кафедры механики, мехатроники и робототехники
ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет»

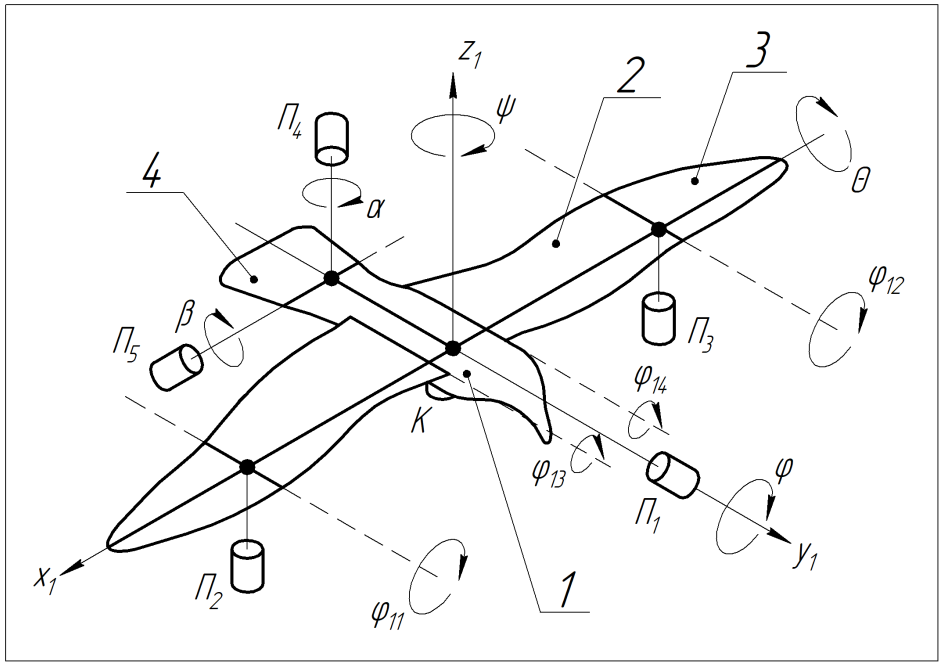
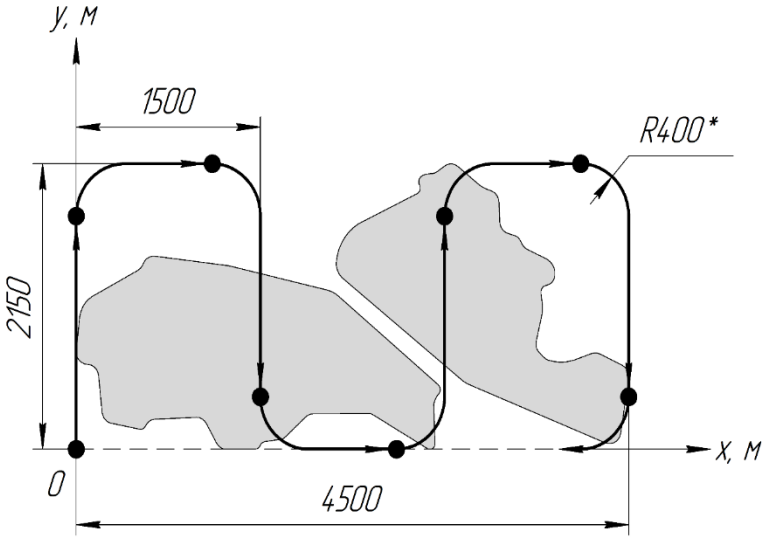


Схема устройства: 1 – Корпус, 2 – Крыло, 3 – Элерон, 4 – Хвост, П1 – Привод крыльев, П2-3 – Сервоприводы элеронов, П4-5– Сервоприводы хвоста, К – Камера, датчики положения

	BionicSwith	SmartBird	Falcon
Крейсерская скорость	-	25 км/ч	75 км/ч
Максимальное время полета	Прибл. 7 мин	-	20 мин
Дальность управления	Помещение с UWB	Испытан на небольшой территории	Зона видимости пилота
Применение	Завод будущего	Испытание технологии	Контроль птиц



Основные результаты:

1.Выполнен обзор существующих конструкций

2.Разработана схема устройства робота

3.Разработана многоканальная схема системы автоматического управления

Завалишинские чтения

О колебаниях виброплатформы при взаимодействии с материалом

Шохин А.Е., Замурагин Ю.М.
ФГБУН Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН)

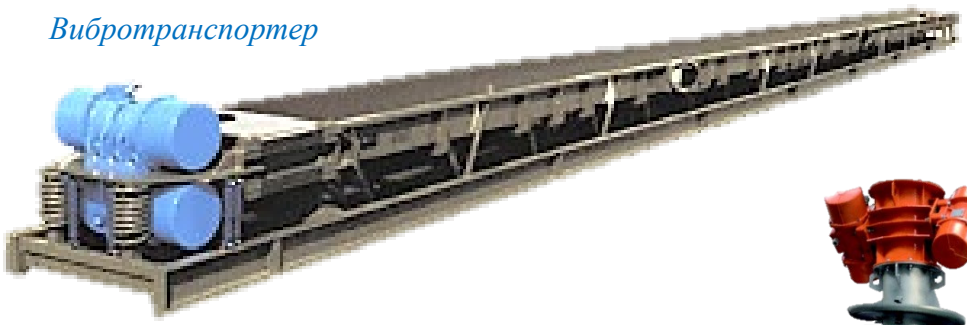
Исследование выполнено за счет средств гранта Российского Научного Фонда, проект № 24-19-00333, https://rscf.ru/project/24-19-00333.

Вибрационные технологические процессы обработки материалов и машины для их реализации

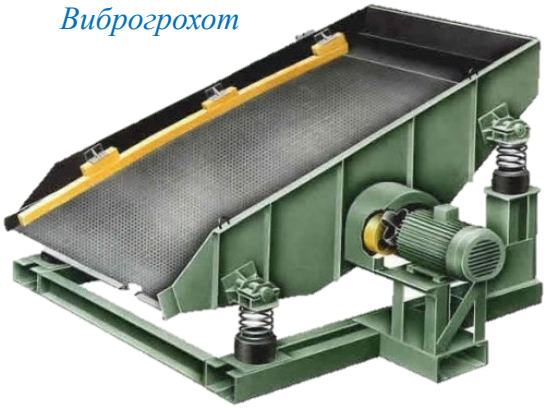
Завалишинские чтения

Транспортирование, грохочение, сепарация

Вибротранспортер



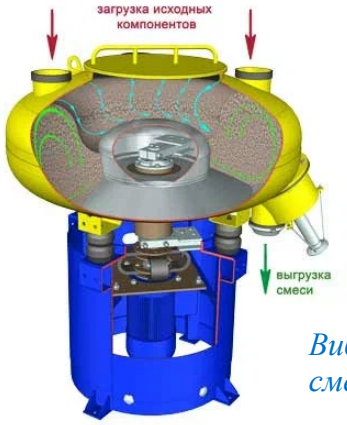
Виброгрохот



Виброподъемник

Дробление, перемешивание

Виброщековая дробилка



Вибрационный смеситель

Подходы, применяемые при проектировании вибрационных технологических процессов и реализующих их агрегатов

Завалишинские чтения

Моделирование технологического процесса:
- исследование поведения материала при заданной вибрации.

Результат:
- зависимости технологических параметров процесса от параметров вибрации;
- выбор оптимальных значений параметров вибрации.

Моделирование динамики технологического агрегата:
- исследование колебаний проектируемого агрегата для реализации требуемых для технологического процесса параметров вибрации (обычно движение материала учитывается упрощенно или не учитывается вовсе).

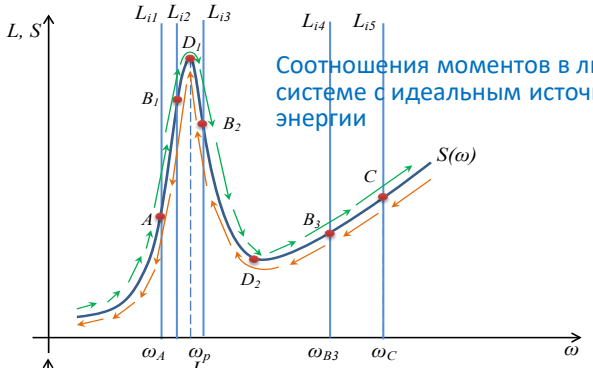
Результат:
- конструктивная схема технологического агрегата;
- выбор режимов возбуждения колебаний.

Экспериментальная апробация:
- исследование поведения материала при заданной вибрации.

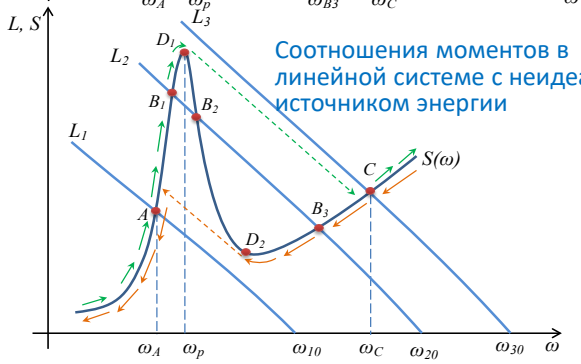
Результат:
- уточнение параметров моделей за несколько итераций;
- окончательный выбор конструктивных решений и параметров.

Учет взаимодействия с неидеальным источником энергии

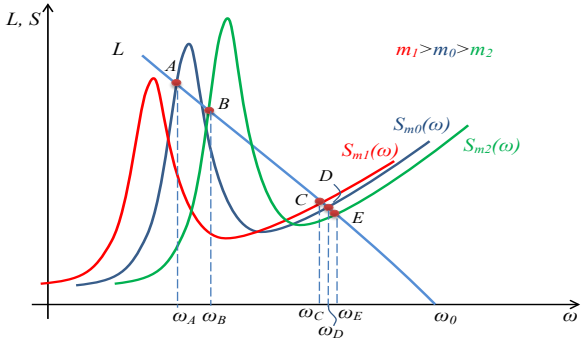
Завалишинские чтения

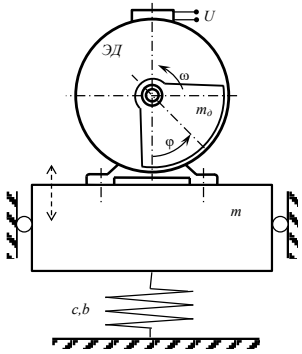


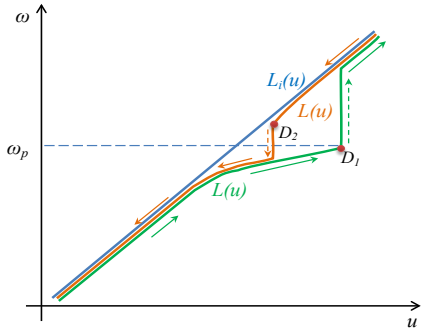
Соотношения моментов в линейной системе с идеальным источником энергии



Соотношения моментов в линейной системе с неидеальным источником энергии

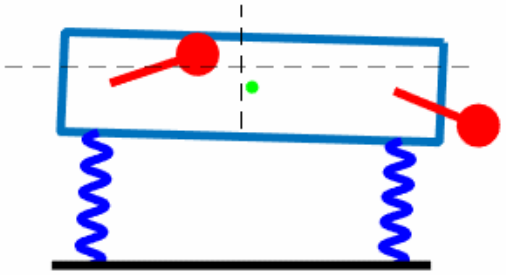




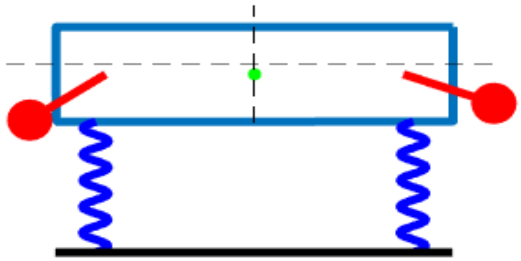


L – моментная характеристика двигателя,
S – момент сопротивления вращению,
ω – частота вращения

Синхронизация вибровозбудителей, установленных на единой платформе

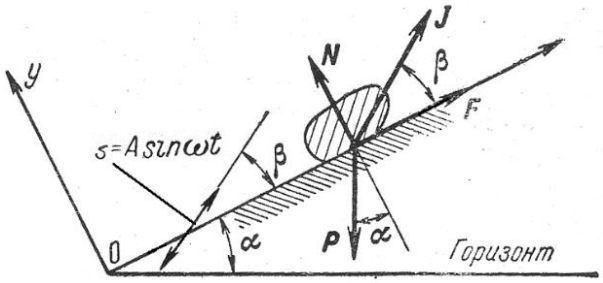


Синхронно-синфазное вращение

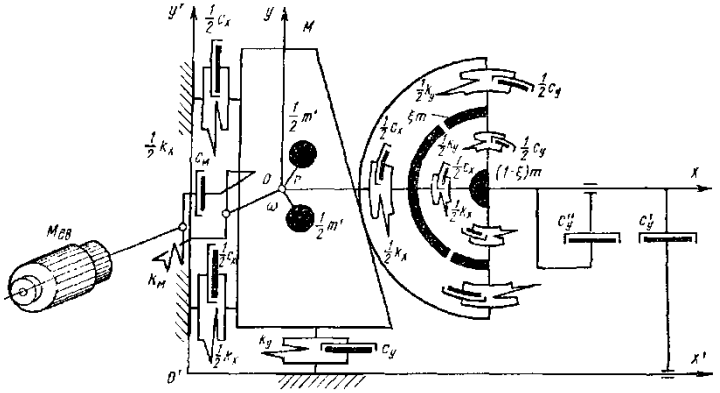


Синхронно-противофазное вращение

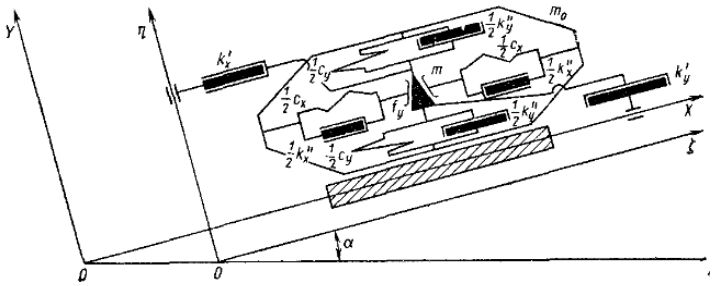
Учет взаимодействия с обрабатываемым материалом



Модель слоя материала в виде материальной точки



Модель виброщековой дробилки с материалом, моделируемым 3-массовым вязко-упругопластическим телом



Двухмассовая инерционная модель слоя сыпучей среды

$$F = m_w n \frac{dX}{dt}$$

Учет взаимодействия с обрабатываемым материалом в виде сил эквивалентного вязкого трения

Цель и задачи

Завалишинские чтения

Цель: повышение стабильности резонансных колебаний вибромашин за счет выявления и учета эффектов от взаимодействия с обрабатываемым материалом.

Задачи:

1. Разработка модели вибрационного технологического процесса обработки сыпучего материала, учитывающих особенности его движения и взаимодействия с рабочим органом вибромашины.

2. Анализ влияния параметров модели, учитывающих физико-механические свойства материала, на возбуждаемые колебания рабочего органа вибромашины.

3. Экспериментальный анализ влияния сыпучего материала на колебания вибромашины.

Рассматриваемый технологический процесс

Завалишинские чтения

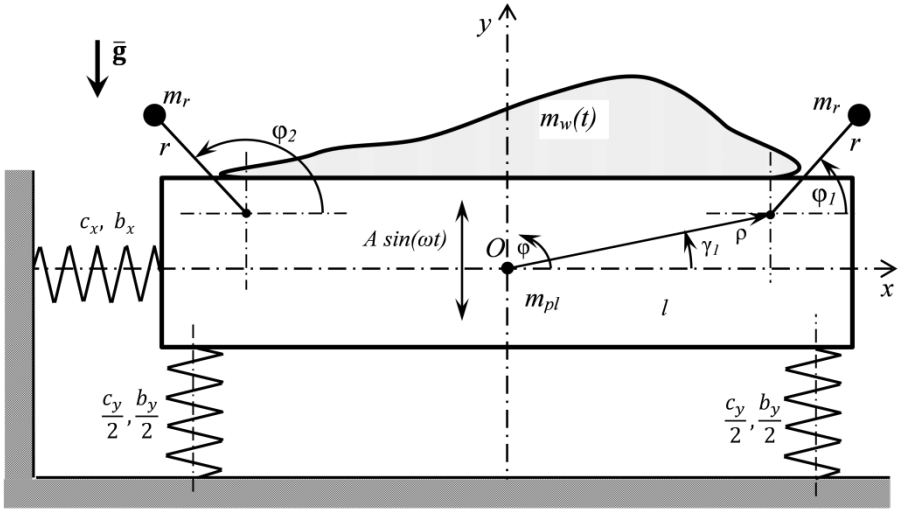
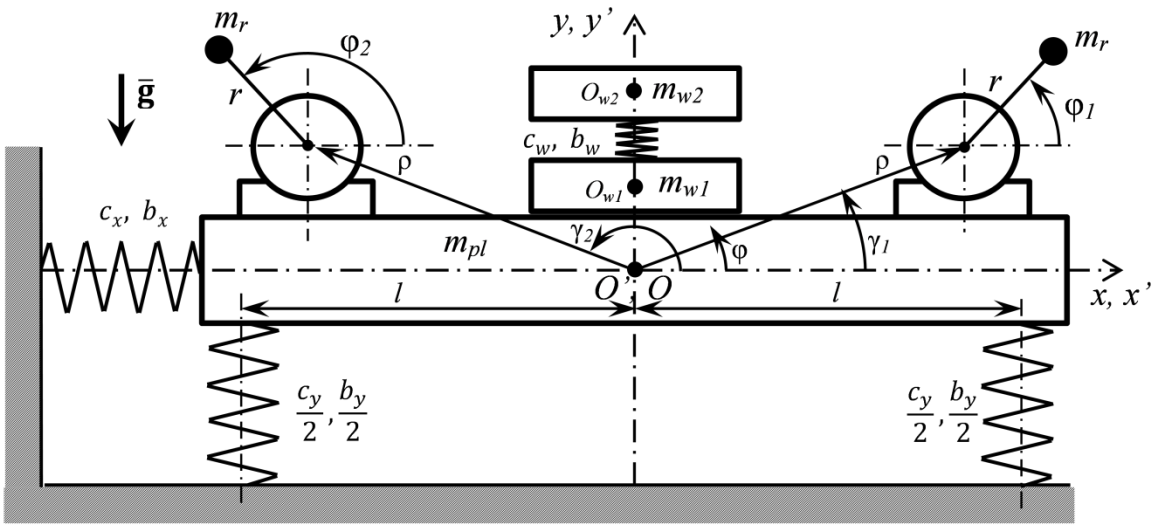


Схема рассматриваемого процесса



Расчетная схема

Математическая модель

Завалишинские чтения

Уравнения движения виброплатформы

$$M\ddot{x} + b_x\dot{x} + c_x x = m_r r \sum_{i=1}^{2} (\cos(\varphi_i)\,\dot{\varphi}_i^2 + \sin(\varphi_i)\,\ddot{\varphi}_i),$$

$$M\ddot{y} + b_y\dot{y} + c_y y = -F_C - Mg + m_r r \sum_{i=1}^{2} (\sin(\varphi_i)\,\dot{\varphi}_i^2 - \cos(\varphi_i)\,\ddot{\varphi}_i),$$

$$J\ddot{\varphi} + b_\varphi\dot{\varphi} + c_\varphi\varphi = m_r r \sum_{i=1}^{2} ((-1)^{i+1}(\rho_{1i}(\varphi)\sin(\varphi_i) - \rho_{2i}(\varphi)\cos(\varphi_i))\,\dot{\varphi}_i^2 - \ldots$$

$$-(-1)^{i+1}(\rho_{1i}(\varphi)\cos(\varphi_i) + \rho_{2i}(\varphi)\sin(\varphi_i))\ddot{\varphi}_i),$$

$$J_e\ddot{\varphi}_i = L_i - L_{Ri} - m_r r(g\cos(\varphi_i) + \sin(\varphi_i)\,\ddot{x} - \cos(\varphi_i)\,\ddot{y} - (-1)^{i+1}(\rho_{1i}(\varphi)\sin(\varphi_i) - \ldots$$

$$-\rho_{2i}(\varphi)\cos(\varphi_i))\dot{\varphi}^2 - (-1)^{i+1}(\rho_{1i}(\varphi)\cos(\varphi_i) + \rho_{2i}(\varphi)\sin(\varphi_i))\ddot{\varphi}),\ (i = 1,2),$$

Уравнения движения материала

$$m_{w1}(\ddot{y} + \ddot{y}_{w1}) - F_c - \mathrm{b}_w\dot{y}_{w2} - \mathrm{c}_w y_{w2} + m_{w1}g = 0,$$
$$m_{w2}(\ddot{y} + \ddot{y}_{w1} + \ddot{y}_{w2}) + \mathrm{b}_w\dot{y}_{w2} + \mathrm{c}_w y_{w2} + m_{w2}g = 0,$$

где F_c – нормальная сила контактного взаимодействия между материалом и платформой, определяемая из (1) и (2) при условии $y_{w1} = 0$, $\dot{y}_{w1} = 0$ и $\ddot{y}_{w1} = 0$, $M = m_0 + 2m_r$, $J = J_0 + M\rho_0^2 + 2m_r\rho^2(m_0 + 2m_r\cos(2\gamma_1))/M$, $J_e = J_d + m_r r^2$, $\rho_{1i}(\varphi) = \rho_c - (-1)^{i+1}\mu_1\rho_s\varphi$, $\rho_{2i}(\varphi) = (-1)^{i+1}\mu_1\rho_s + \rho_c\varphi$, $\mu_1 = m_0/(m_0 + 2m_r)$, $\rho_c = \rho\cos(\gamma_1)$, $\rho_s = \rho\sin(\gamma_1)$, $\gamma_2 = \pi - \gamma_1$, $m_w = m_{w1} + m_{w2}$, J_d – момент инерции вала приводного электродвигателя.

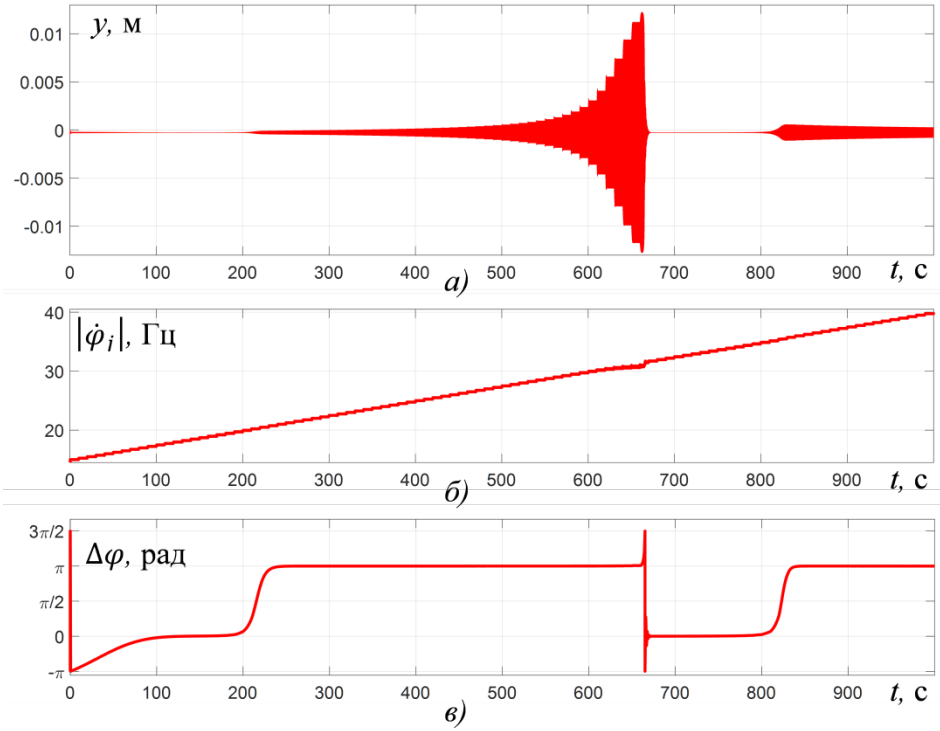
Изменение скоростей при соударении материала с платформой

$$\dot{y}^+ = \frac{m_{w1}}{(k + m_{w1})}(1 + R)\dot{y}_{w1}^- + \dot{y}^-,$$
$$\dot{y}_{w1}^+ = -R\dot{y}_{w1}^-,$$
$$\dot{y}_{w2}^+ = \dot{y}_{w2}^- + (1 + R)\dot{y}_{w1}^-,$$
$$\dot{x}^+ = -J_e(sin(2\varphi_1) + sin(2\varphi_2))m_r^2 r^2 S_y/(2k_1) + \dot{x}^-,$$
$$\dot{\varphi}_1^+ = -m_r r(m_r^2 r^2 sin(\varphi_2)sin(\varphi_1 - \varphi_2) + MJ_e cos(\varphi_1))S_y/k_1 + \dot{\varphi}_1^-,$$
$$\dot{\varphi}_2^+ = m_r r(m_r^2 r^2 sin(\varphi_1)sin(\varphi_1 - \varphi_2) - MJ_e cos(\varphi_2))S_y/k_1 + \dot{\varphi}_2^-,$$

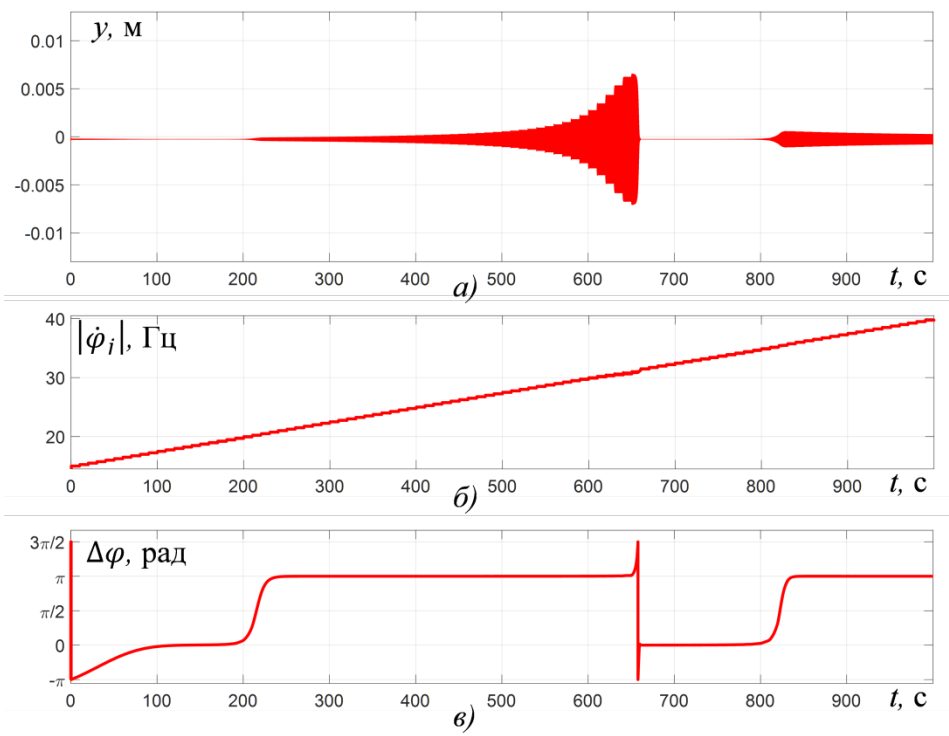
где верхние индексы «-» и «+» обозначают значения скоростей соответственно до и после удара, $k = 2k_1/(J_e(-2 + cos(2\varphi_1) + cos(2\varphi_2))m_r^2 r^2 + 2MJ_e^2)$, $k_1 = m_r^4 r^4 sin(\varphi_1 - \varphi_2)^2 - 2Mm_r^2 r^2 J_e + M^2 J_e^2$, $S_y = \frac{km_{w1}}{k + m_{w1}}(1 + R)\dot{y}_{w1}^-$, R – коэффициент восстановления скорости при

Результаты моделирования, безударная модель

Завалишинские чтения



Колебания платформы без материала:
а — вертикальные перемещения,
б — частота возбуждения,
в — разность фаз вращения вибровозбудителей.

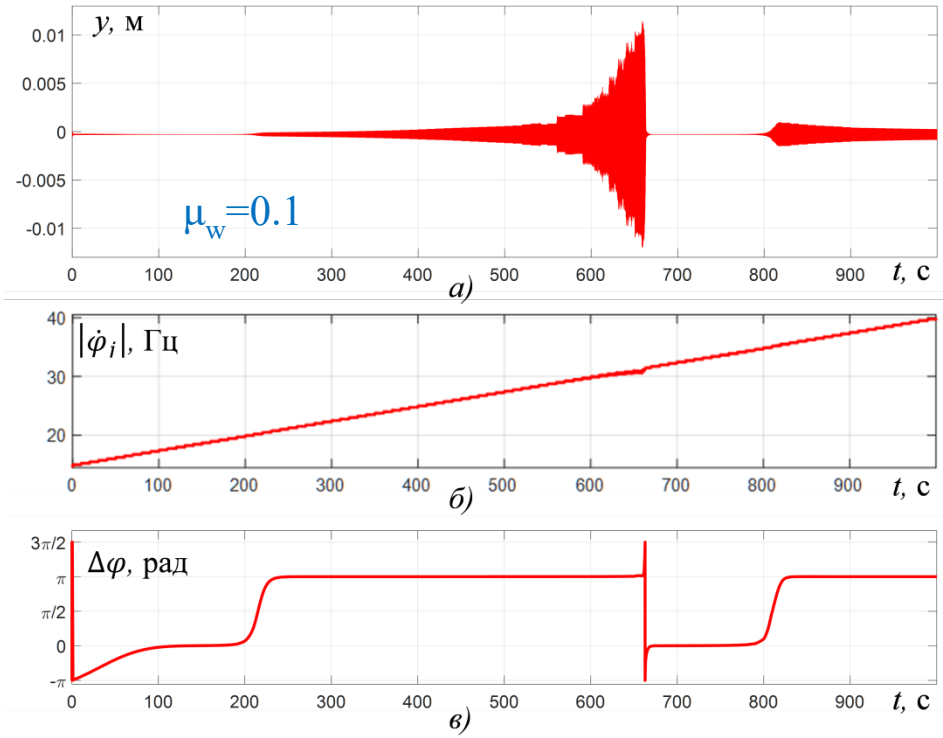


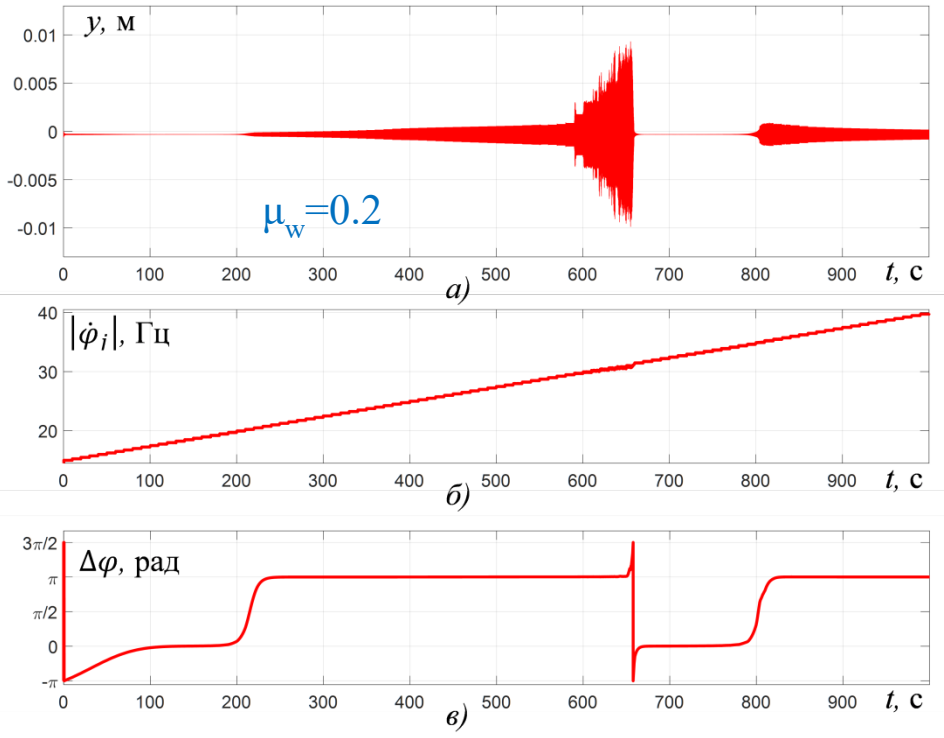
Колебания платформы без с материалом μ_w=0.2 (безударная модель, взаимодействие с материалом учитывается силами эквивалентного вязкого трения):
а — вертикальные перемещения,
б — частота возбуждения,
в — разность фаз вращения вибровозбудителей.

Результаты моделирования, модель с ударом

Завалишинские чтения

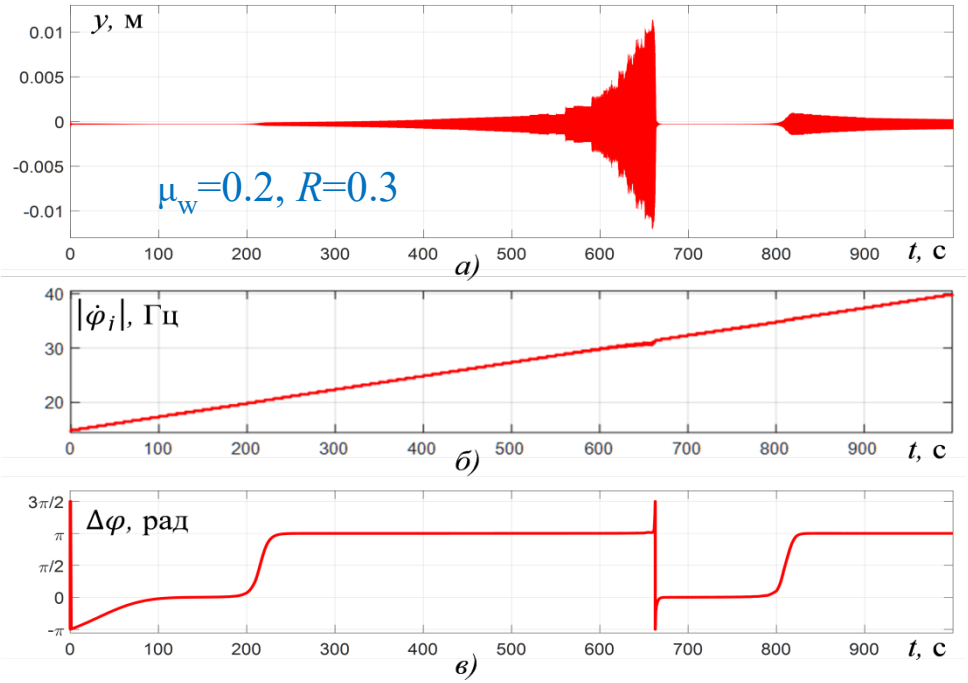
Колебания платформы с материалом μ_w=0.1 (слева) и μ_w=0.2 (справа) при абсолютно неупругом соударении R=0 (модель с ударом) : *а* — вертикальные перемещения, *б* — частота возбуждения, *в* — разность фаз вращения вибровозбудителей.





Результаты моделирования, модель с ударом

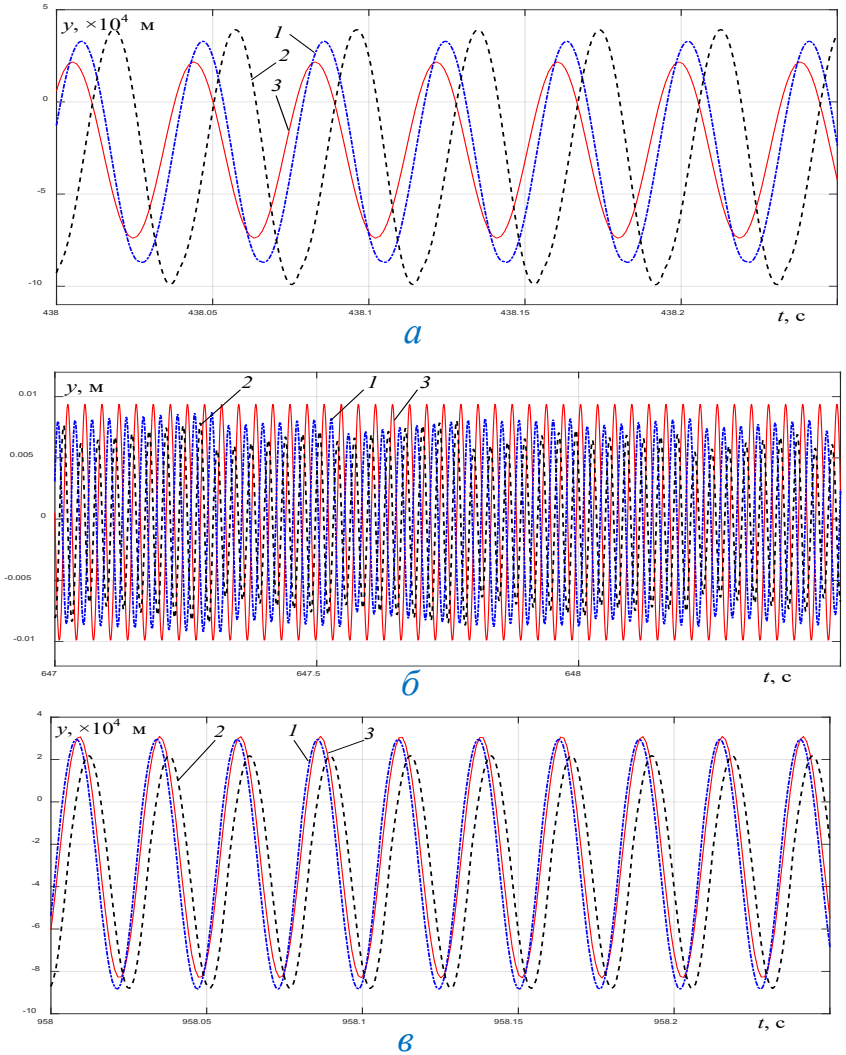
Завалишинские чтения



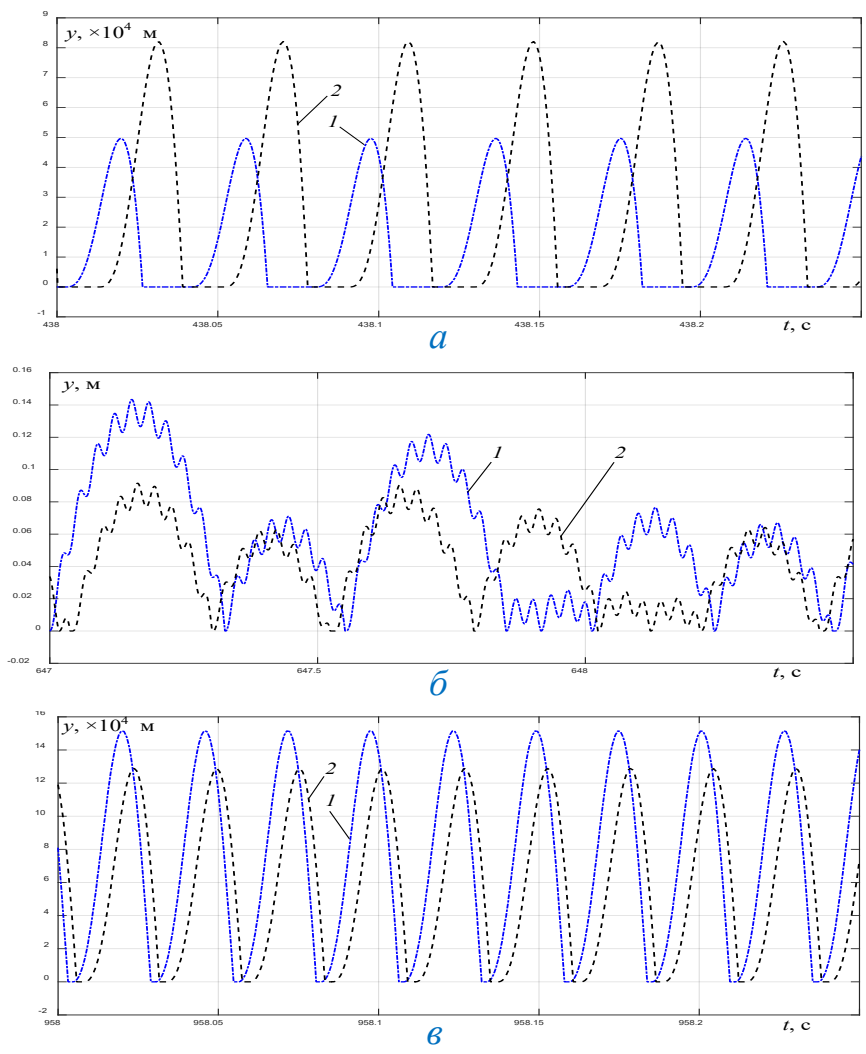
Колебания платформы с материалом μ_w=0.2 и R=0.3:
а — вертикальные перемещения,
б — частота возбуждения,
в — разность фаз вращения вибровозбудителей.

Результаты моделирования, модель с ударом

Завалишинские чтения



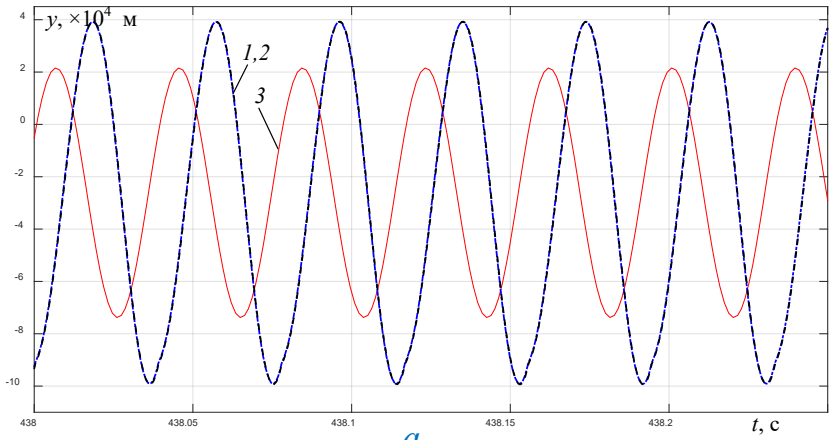
Вертикальные колебания платформы при R=0; а) при $|\dot{\varphi}_i| = 25.75$ Гц, *б) при* $|\dot{\varphi}_i| = 30.7$ Гц,, *в) при* $|\dot{\varphi}_i| = 38.75$ Гц; *1 -* $\mu_w = 0.1$, *2 -* $\mu_w = 0.2$, *3 -* $\mu_w = 0$.



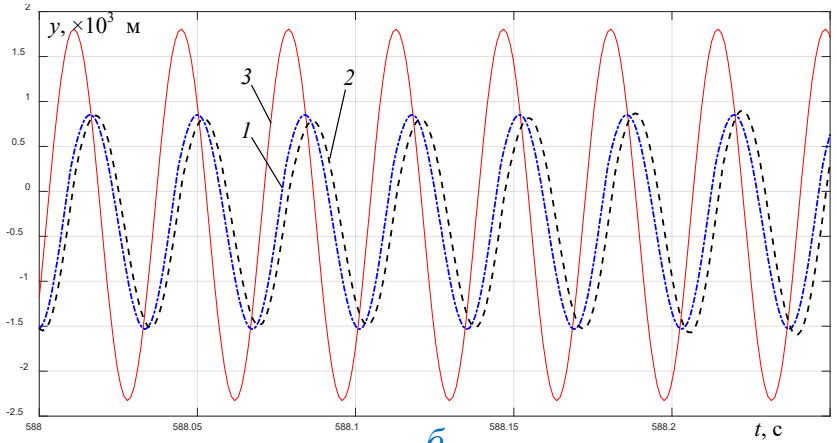
Перемещение материала относительно платформы при R=0; а) при $|\dot{\varphi}_i| = 25.75$ Гц, *б) при* $|\dot{\varphi}_i| = 30.7$ Гц,, *в) при* $|\dot{\varphi}_i| = 38.75$ Гц; *1 -* $\mu_w = 0.1$, *2 -* $\mu_w = 0.2$.

Результаты моделирования, сопоставление моделей

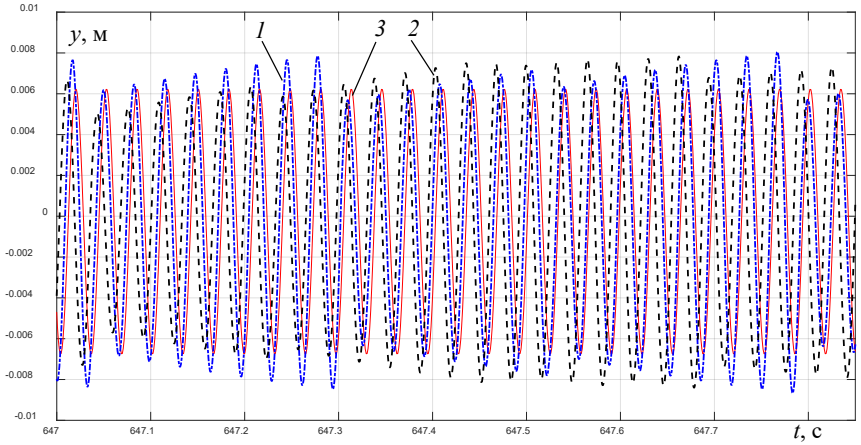
Завалишинские чтения



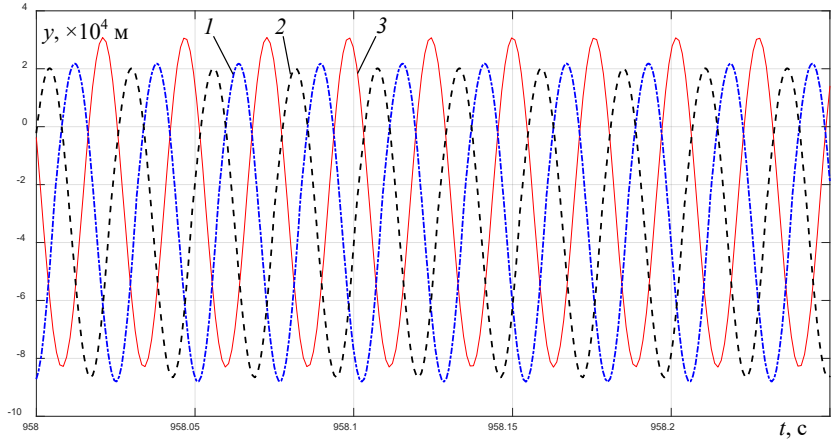
а



б



в

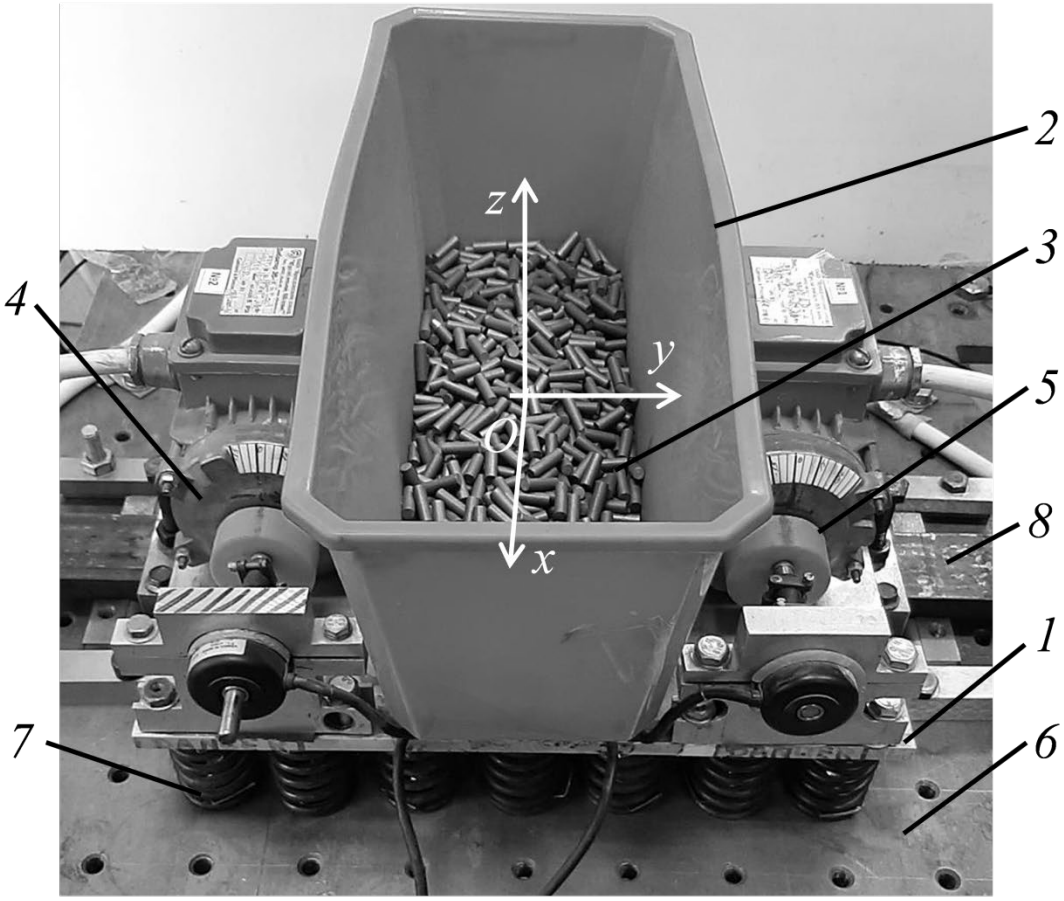


г

Вертикальные колебания платформы при $\mu_w = 0.2$; а) при $|\dot{\phi}_i| = 25.75$ Гц, б) при $|\dot{\phi}_i| = 28.75$ Гц, в) при $|\dot{\phi}_i| = 30.7$ Гц,, г) при $|\dot{\phi}_i| = 38.75$ Гц; 1 – модель с ударом при R=0, 2 – модель с ударом при R=0.3, 3 – безударная модель.

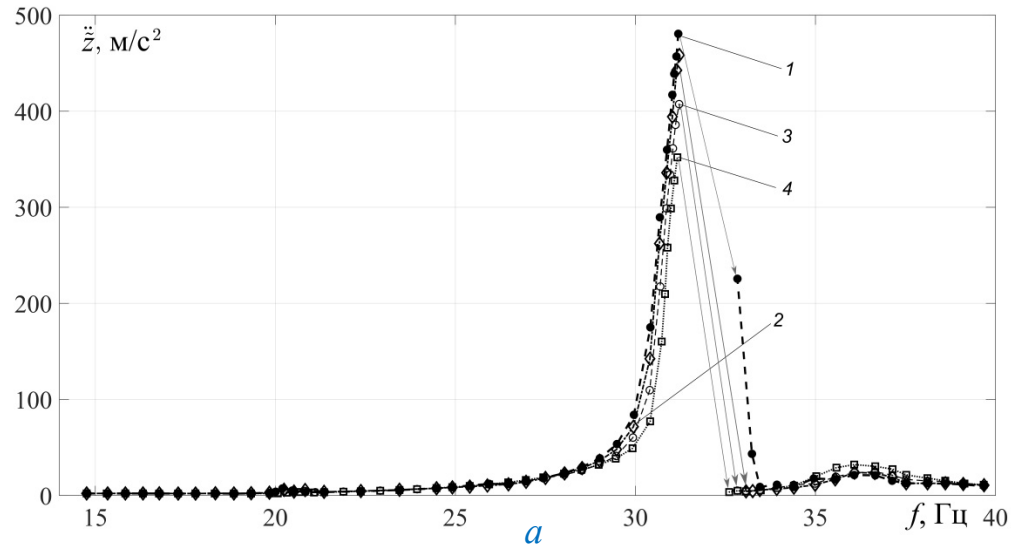
Экспериментальный макет

Завалишинские чтения

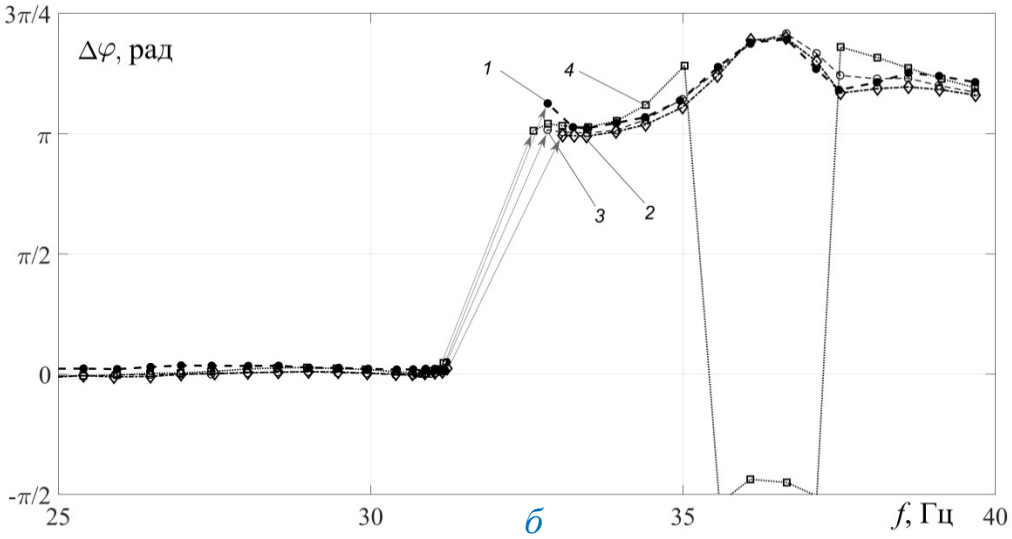


Результаты эксперимента

Завалишинские чтения



а



б

СКЗ амплитуд вертикальных виброускорений пластины $\ddot{\tilde{z}}$ (а) и взаимной фазы вращения вибровозбудителей $\Delta\varphi$ (б) в зависимости от частоты возбуждения f:

1 – μ_w=0;
2 – μ_w=0.08;
3 – μ_w=0.16;
4 – μ_w=0.24.

Спасибо за внимание.

The Impact of Noise on the Ellipse Recognition by Random Sample Consensus (RANSAC) algorithm

Ilya Osokin, Skoltech, Artificial Intelligence in Dynamic Action Lab, 2025

Ellipse recognition

- Ellipses are quite common
- 5 parameters: x, y, 2 semiaxes, angle
- Real-world data is noisy

Fig.1: ellipses in the real world

Overview of alternative methods

- Least Squares is sensitive to outliers
- Vanilla Hough Transform is excessively heavy on memory and computations
- Neural networks are unpredictable and prone to domain shift

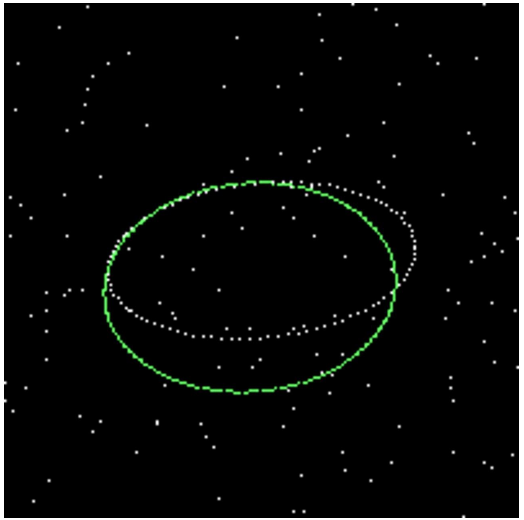


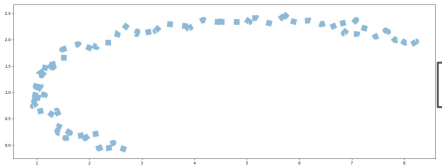
Fig.2: an ellipse incorrectly fitted to noisy data

RANdom SAmple Consensus

- Sampling a small subset of data
- Constructing a model
- Evaluating the quality with the rest of the data
- Loop until desired success probability is reached

P - expected success probability
α - share of the inliers
n - number of data points
k - number of points that determine the model

$$\alpha$$
$$\alpha^k$$
$$1 - \alpha^k$$
$$(1 - \alpha^k)^m = 1 - P$$
$$\ln(1 - \alpha^k)^m = \ln(1 - P)$$
$$m \ln(1 - \alpha^k) = \ln(1 - P)$$
$$m = \frac{\ln 1 - P}{\ln(1 - \alpha^k)}$$



In a particular case of ellipses

- Transform 2D points into vectors of second-order monomials
- Solve a system of linear equations with standard methods
- Extract x, y, semiaxes a, b, angle

$$X_i = \begin{pmatrix} x_i^2 \\ x_i y_i \\ x_i^2 \\ x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix}$$

Impact of the noise

- Intersection over Union (IoU) between Ground True and output ellipses was measured
- Quality degrades as the noise grows
- Excessive iterations are unnecessary

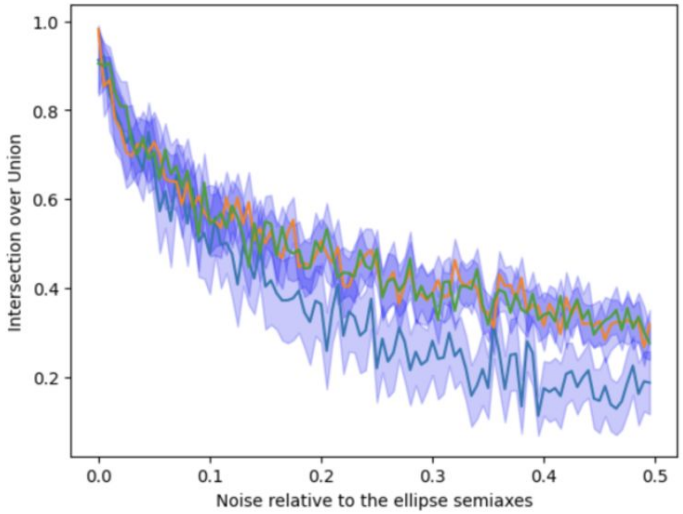


Fig.3: IoU degradation with increasing noise

Iterations number	Noise 0.3	Noise 0.5	Noise 0.8
5	0.403	0.219	0.174
50	0.499	0.450	0.314
500	0.550	0.487	0.339

Tab.1: IoU for different iterations number with noise amplitude relative to the semiaxes of the ellipse

Thank you!

- [1] M. Han, J. Kan, Y. Wang, Ellipsoid fitting using variable sample consensus and two-ellipsoid-bounding-counting for locating Lingwu long Jujubes in a natural environment, IEEE Access, 2019
- [2] M. Fischler, R. Bolles, Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, CACM, 1981
- [3] I. Nyalala, C. Okinda, L. Nyalala, N. Makange, Q. Chao, L. Chao, K. Yousaf, K. Chen, Tomato volume and mass estimation using computer vision and machine learning algorithms: Cherry tomato model, Journal of Food Engineering, 2019
- [4] E. Rodriguez, D. Skarecky, N. Narula, T. E. Ahlering, Prostate volume estimation using the ellipsoid formula consistently underestimates actual gland size, The Journal of urology, 179(2):501–503, 2008.
- [5] J. Yu, H. Zheng, S. R. Kulkarni, H. Vincent Poor, Outlier elimination for robust ellipse and ellipsoid fitting, In 2009 3rd IEEE International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP), pages 33–36. IEEE, 2009.
- [6] M. Ghahremani, K. Williams, F. Corke, B. Tiddeman, Y. Liu, X. Wang, J. H. Doonan, Direct and accurate feature extraction from 3d point clouds of plants using ransac, Computers and Electronics in Agriculture, 187:106240, August 2021
- [7] M. Han, J. Kan, G. Yang, X. Li, Robust Ellipsoid Fitting Using Combination of Axial and Sampson Distances, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2023
- [8] P. Abbott, On the Perimeter of an Ellipse, *Mathematica,* pp. 172-185, 2009.

Review of Methods for Constructing Inertia Models of Robotic Manipulator Systems

Ivan V. Polishchuk, Oleg N. Krakhmalev

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University

Introduction

Zavalishin's Readings

Relevance:

- the efficiency of robotic manipulators is determined by the accuracy of their dynamic models;
- errors in modeling inertial parameters lead to reduced positioning accuracy and decreased control system stability.

Problem Statement:

- high accuracy and speed are required for manipulators operating in confined environments;
- a key requirement is the correct description of mass distribution and mutual arrangement of link elements.

Research Objective:

- to review existing methods for modeling the inertial properties of robotic manipulator systems;
- to implement the calculation of inertial properties for a body set and a manipulator link.

Inertia Matrix if a Rigid Body

For a body with uniform density, the inertia matrix is computed by integrating over the body's volume:

$$H = \int_{\Omega_i} r r^T \, dm,$$

where r is the radius vector of an arbitrary point in the body.

Matrix representation:

$$H = \begin{bmatrix} I_{x^2} & I_{xy} & I_{xz} & S_x \\ I_{xy} & I_{y^2} & I_{yx} & S_y \\ I_{xz} & I_{yx} & I_{z^2} & S_z \\ S_x & S_y & S_z & M \end{bmatrix},$$

where $I_{x^2}, I_{y^2}, I_{z^2}$ are the moments of inertia relative to the coordinate planes; I_{xy}, I_{xz}, I_{yz} are the centrifugal (product) moments of inertia; S_x, S_y, S_z are the static moments of mass; M is the mass of the body.

$$S_i \rightarrow S_j$$

$$H_j = A_{j,i} H_i A_{j,i}^T,$$

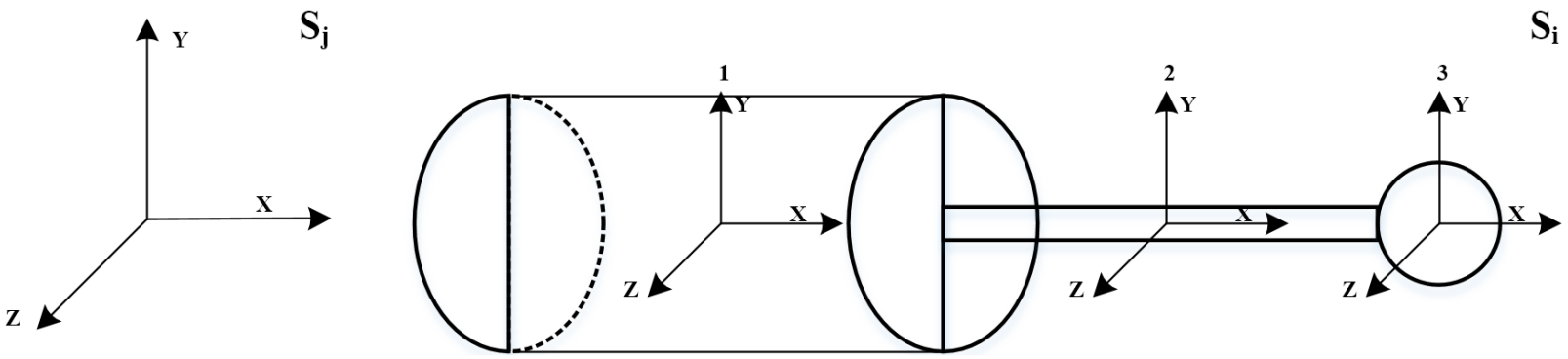
where H_i is the inertia matrix in coordinate system S_i; $A_{i,j}$ is the transformation matrix that accounts for the relative position and orientation of the coordinate systems.

$$A_{j,i} = \begin{bmatrix} R & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

where $R \in R^{3\times3}$ is the rotation matrix (orientation); $L \in R^{3\times1}$ is the radius vector of the center of mass in system S_j; 0 – zero raw, 1 – scalar defining homogeneous coordinates.

Modeling Methods

№	Method	Brief Description	Advantages	Limitations
1	Point masses	Representation of the body as a set of point masses	Simplicity, low computational cost	Incomplete representation of the object
2	Bodies of simple geometric shape	The link is modeled as a set of simple geometric bodies	High accuracy, moderate computational complexity	Cannot account for bodies with complex geometry
3	Body complexes	Modeling of the link as a set of body complexes	Balance between accuracy and computational complexity	Increased computational load
4	Finite elements	Discretization of parts into small finite elements	High accuracy for bodies with complex geometry	High implementation complexity and computational load



Structure of the body complex

Transformation formula:

$$H_j = A_{j,i} H_i A_{j,i}^T$$

Summation:

$$H = \sum_{i=1}^{n} A_{j,i} H_i A_{j,i}^T$$

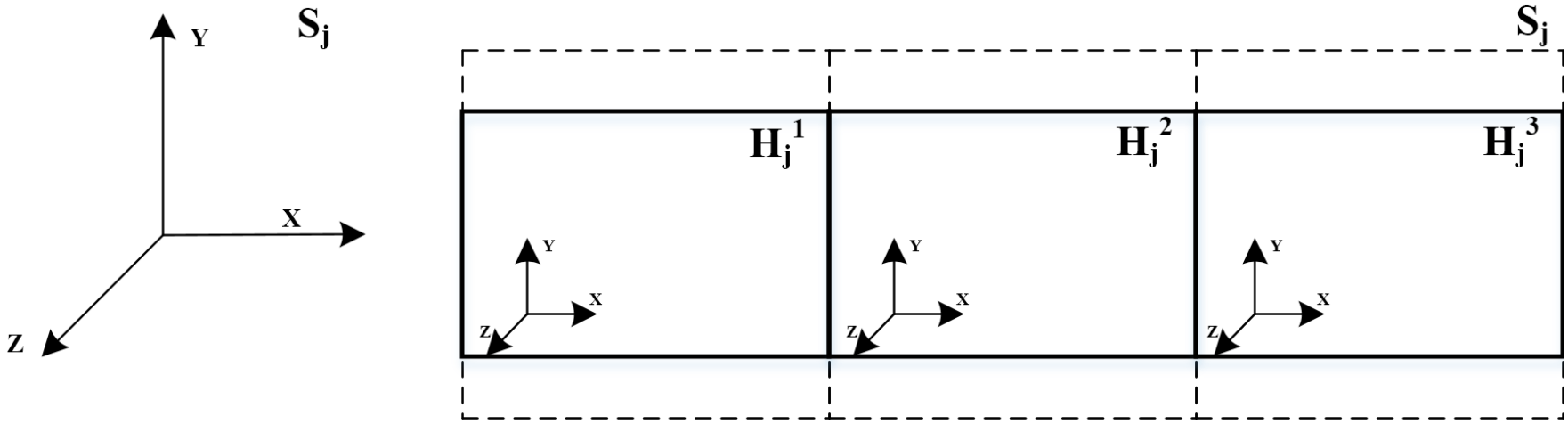
Zavalishin's Readings

Inertia matrix of a solid cylinder, transformed to the local coordinate system S_j:

$$H_j = \begin{bmatrix} \frac{M_1(l^2 + 12l_1^2)}{12} & 0 & 0 & M_1 l_1 \\ 0 & \frac{M_1 R_1^2}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{M_1 R_1^2}{4} & 0 \\ M_1 l_1 & 0 & 0 & M_1 \end{bmatrix}.$$

Final inertia matrix of the body complex H:

$$H_{11} = \frac{5L^2 M_2 + 5M_1(L^2 + 12l_1^2) + 12M_3 R_1^2}{60};$$
$$H_{22} = \frac{5M_1 R_1^2 + 20M_2 l_2^2 + 4M_3 R_1^2}{20};$$
$$H_{33} = \frac{5M_1 R_1^2 + 4M_3 R_1^2 + 20M_3 l_3^2}{20};$$
$$H_{33} = H_{41} = M_1 l_1;$$
$$H_{24} = H_{42} = M_2 l_2;$$
$$H_{34} = H_{43} = M_3 l_3;$$
$$H_{44} = M_1 + M_2 + M_3.$$



Structure of the link consisting of three body complexes in the S_j coordinate system

Transformation formula:

$$H_j = A_{j,i} H_i A_{j,i}^T$$

Summation:

$$H = \sum_{i=1}^{n} A_{j,i} H_i A_{j,i}^T$$

Zavalishin's Readings

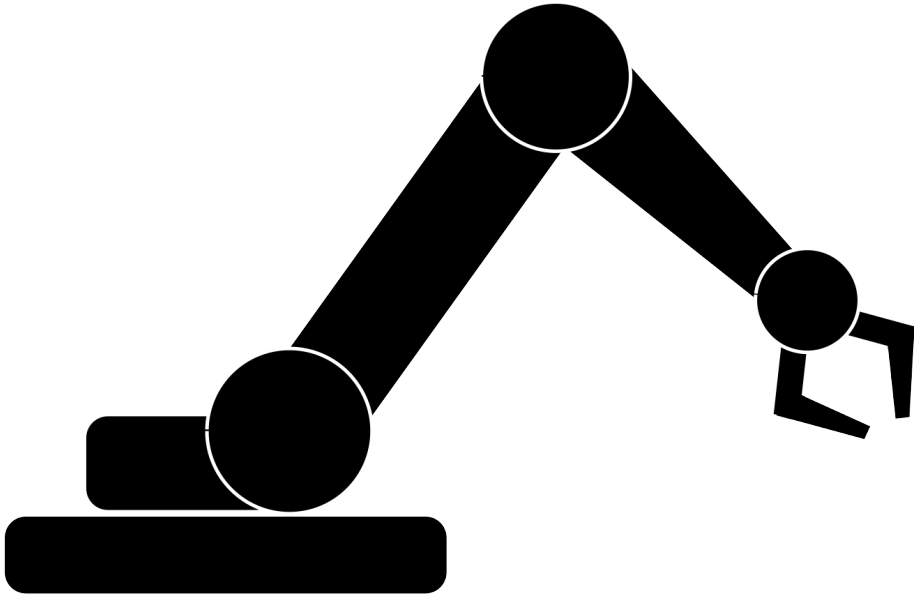
The inertia matrix of the first body complex $H_j^{(l)}$, transferred to the local coordinate system of the link S_j:

$$H_{11}^{(1)} = \frac{5L^2M_2 + 5M_1(L^2 + 12l_1^2) + 12M_3R_1^2}{60};$$
$$H_{22}^{(1)} = \frac{5M_1R_1^2 + 20M_2l_2^2 + 4M_3R_1^2}{20};$$
$$H_{33}^{(1)} = \frac{5M_1R_1^2 + 4M_3R_1^2 + 20M_3l_3^2}{20};$$
$$H_{14}^{(1)} = H_{41}^1 = M_1l_1;$$
$$H_{24}^{(1)} = H_{42}^1 = M_2l_2;$$
$$H_{34}^{(1)} = H_{43}^1 = M_3l_3;$$
$$H_{44}^{(1)} = H_{41}^1 = M_1l_1;$$
$$H_{44}^{(1)} = M_1 + M_2 + M_3.$$

Final inertia matrix of the link H:

$$H_{11} = \frac{5A^2M_1 + 5L^2M_1 + 10L^2M_2 + 30M_1R_1^2 + 120M_1l_1^2 + 12M_3R_1^2}{60};$$
$$H_{13} = H_{31} = 2M_1l_1;$$
$$H_{22} = \frac{5L^2M_1 + 45M_1R_1^2 + 120M_2l_2^2 + 12M_3R_1^2}{60};$$
$$H_{24} = H_{42} = 2M_2l_2;$$
$$H_{33} = 2M_2l_2^2;$$
$$H_{44} = \frac{5B^2M_1 + 5L^2M_1 + 15M_1R_1^2 + 60M_1l_1^2 + 120M_2l_2^2 + 12M_3R_1^2 + 300M_3l_3^2}{60};$$
$$H_{34} = H_{43} = M_1l_1 + 2M_2l_2 + 3M_3l_3;$$
$$H_{55} = 3M_1 + 3M_2 + 3M_3.$$

1. Methods for modeling the inertial characteristics of robotic manipulator systems have been presented.
2. A promising direction is the development and refinement of a method based on discretizing parts of complex geometric shapes into small finite elements.
3. The result is an increase in the accuracy of computations, level of detail, and other characteristics.



Thank you for your attention!

Завалишинские чтения

Анализ современных SCADA-систем и перспективы их развития

Обзор SCADA-технологий и их влияние на промышленность.

М. А. Антонов
А. В. Амплеева
М. В. Сержантова

2025

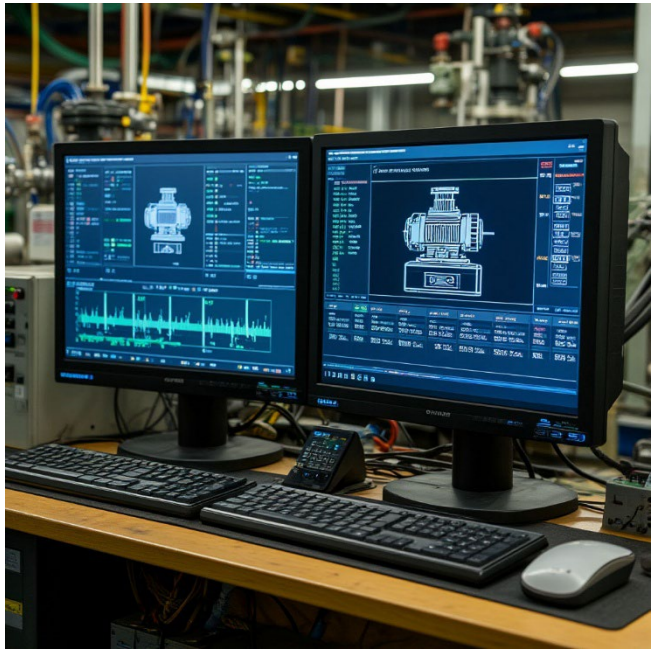
Цель работы

- Целью данной статьи является выбор наиболее подходящей для разработки масштабной SCADA системы, с использованием современных технологий и возможностью дальнейшей модификации.

Преимущества SCADA в производстве

- **Повышение эффективности:** SCADA систематизирует производственные процессы, улучшая эффективность работы оборудования.
- **Улучшение безопасности:** Безопасность усиливается за счет интеграции мониторинга и анализа данных.
- **Снижение затрат**: Снижение эксплуатационных расходов достигается благодаря оптимальному управлению ресурсами.
- **Внедрение инноваций:** Современные технологии и решения способствуют внедрению новых инновационных подходов.

Эволюция SCADA от монолитных к IoT



Монолитные и распределенные SCADA-архитектуры работали в изолированных средах с проприетарными протоколами, что ограничивало их взаимодействие с внешними системами. Например, первые поколения на базе PDP-11 использовали специализированные WAN-сети, а резервирование обеспечивалось дублированием оборудования. Распределенные системы внедрили LAN-сети, повысив вычислительную мощность и надежность за счет разделения задач между несколькими узлами, однако протоколы оставались закрытыми, что усложняло масштабирование.

Современные сетевые и IoT SCADA-архитектуры используют открытые стандарты связи, облачные технологии и интеграцию с IIoT, что упрощает масштабирование и снижает затраты. Данные хранятся в облаке, анализируются через big data, а функционал разделен между сервером (обработка данных, подключение к контроллерам) и клиентами (визуализация). Это позволяет гибко распределять системы географически, повышать устойчивость за счет анализа аномалий и эффективно внедрять новые устройства в существующую инфраструктуру.

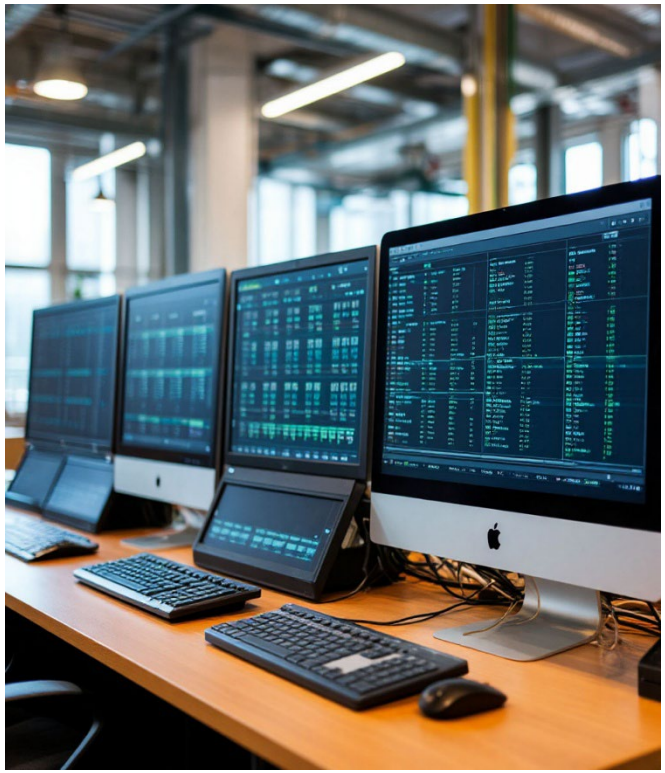
Сравнительный анализ SCADA-систем

SCADA	MasterSCADA	Trace Mode	OpenSCADA	WinCC	КАСКАД
Поддерживаемая ОС	Windows	Windows, Linux	Linux, (+ для клиентов Android)	Windows	Windows, Linux (+ для клиентов iOS и Android)
Поддержка промышленных протоколов	Modbus, Dcon, MasterBUS, MasterLink	Modbus, OPC, SNMP, ROC и другие	Modbus, SNMP, OPC UA, DCON и другие	SIMATIC S7, MPI, PROFIBUS, Modbus TCP/IP, МЭК 60870-5-104	PROFINet, PROFISafe, Modbus, Ethernet/IP, SNMP, BACnet, OPC – OPC UA и др.
Языки программирования	ST, FBD и C#	FBD, SFC, LD, ST, IL	JavaLikeCalc	ANSI C, VBS и VBA	C++ / C#, CONTROL++
База данных	MSSQL, Oracle, Firebird, MySQL, Interbase	MSSQL, Oracle, MySQL, MSAccess, Firebird	DBF, MySQL, SQLite, FireBird, PostgreSQL	Microsoft SQL Server	PostgreSQL, influxDB, Microsoft SQL Server, Oracle и другие
Поддержка IoT	Да	Нет	Да	Нет	Да

Таблица 1 – Сравнение характеристик

Особенности клиент-серверных SCADA-систем

- **Централизация функций на сервере:** Серверы выполняют основные задачи, включая взаимодействие с контроллерами и базами данных.
- **Визуализация на клиентских устройствах:** Клиенты представляют данные в удобной форме, обеспечивая операторов важной информацией.
- **Обработка и хранение данных:** Данные обрабатываются сервером и хранятся в современных базах данных для обеспечения доступа.
- **Мобильность и доступность:** Поддержка мобильных платформ улучшает доступность и гибкость управления системами.



Перспективы развития

- Искусственный интеллект и голосовые помощники (Алиса, Siri, Google Assistant) стали ключевыми трендами в IT, совершенствуясь благодаря развитию ИИ и внедряясь в повседневные задачи. Однако в производственном секторе их интеграция началась недавно: примером стал кейс компании «БСГ», внедрившей голосовое управление сельхозтехникой на базе SaluteSpeech и GigaChat. Это демонстрирует потенциал технологии, но такие решения пока единичны.

Вывод

- Система КАСКАД выбрана как оптимальная SCADA-платформа для масштабных проектов благодаря модульной архитектуре: независимые менеджеры, связанные через TCP/IP, обеспечивают гибкость интеграции сторонних решений. Поддержка любых ОС, широкий набор нативных протоколов связи и современных баз данных позволяет легко адаптироваться к новым технологиям, сохраняя надежность в сложных сетевых инфраструктурах.

Список источников:

1. A. Shahzad, S. Musa, A. Aborujilah, M. Irfan. The SCADA review: System components, architecture, protocols and future security trends // American Journal of Applied Sciences. 2014. № 11 (8). P. 1418–1425.

2. R.H. McClanahan. The benefits of networked SCADA systems utilizing IP-enabled networks // Rural Electric Power Conference. 2002

3. N.H. Pathak. Modern SCADA systems // International engineering journal for research and development. 2014. № 2 (2). P. 1693–1699.

4. C. Feng, V.R. Palleti, A. Mathur, D. Chana. A systematic framework to generate invariants for anomaly detection in industrial control systems // 26th Annual Network and Distributed System Security Symposium. 2019.

5. X. Lyu. Safety and security risk assessment in cyber-physical systems // IET Cyber-Phys. Syst. 4. 2019. № 221–232 (11).

6. Y. Yang, K. McLaughlin, S. Sezer, T. Littler, E.G. Im, B. Pranggono, H.F. Wang, Multiattribute. SCADA-specific intrusion detection system for power networks // IEEE Transactions on Power Delivery. 2014. № 29 (3). P. 1092–1102.

7. I. Stoian, E. Stancel, S. Ignat, S. Balogh, O. Dancea. Federative SCADA consideration // IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR). 2010. № 3. P. 1–6.

8. Человеко-машинный интерфейс. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Человеко-машинный_интерфейс (дата обращения: 28.11.2024).

9. Sber Devices. Всероссийский день поля – 2024. URL: https://sberdevices.ru/press/detail/vserossijskij-den-polya-2024-bsg-predstavila-golosovuyu-sistemu-upravleniya-dozhdevalnymi-mashinami-na-baze-tehnologij-sber-devices/ (дата обращения: 28.11.2024).

10. Московский Фонд поддержки промышленности и предпринимательства. Цифровизация промышленности. URL: https://mfppp.ru/news/promyshlennost/tsifrovizatsiya-promyshlennosti/ (дата обращения: 28.11.2024).

11. Исследование «Особенности и перспективы российского рынка Internet of things». URL: https://pltf.ru/2019/02/21/issledovanie-br-osobennosti-i-perspektivy-rossijskogo-rynka-br-internet-of-things/ (дата обращения: 28.11.2024).

Спасибо за внимание!

Завалишинские чтения

Исследование применения генетических алгоритмов в задачах планирования маршрута в сравнении с эвристическими

Д.А. Зырянов
Е.М. Бадика
А.П. Бобрышов
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Принцип работы генетического алгоритма

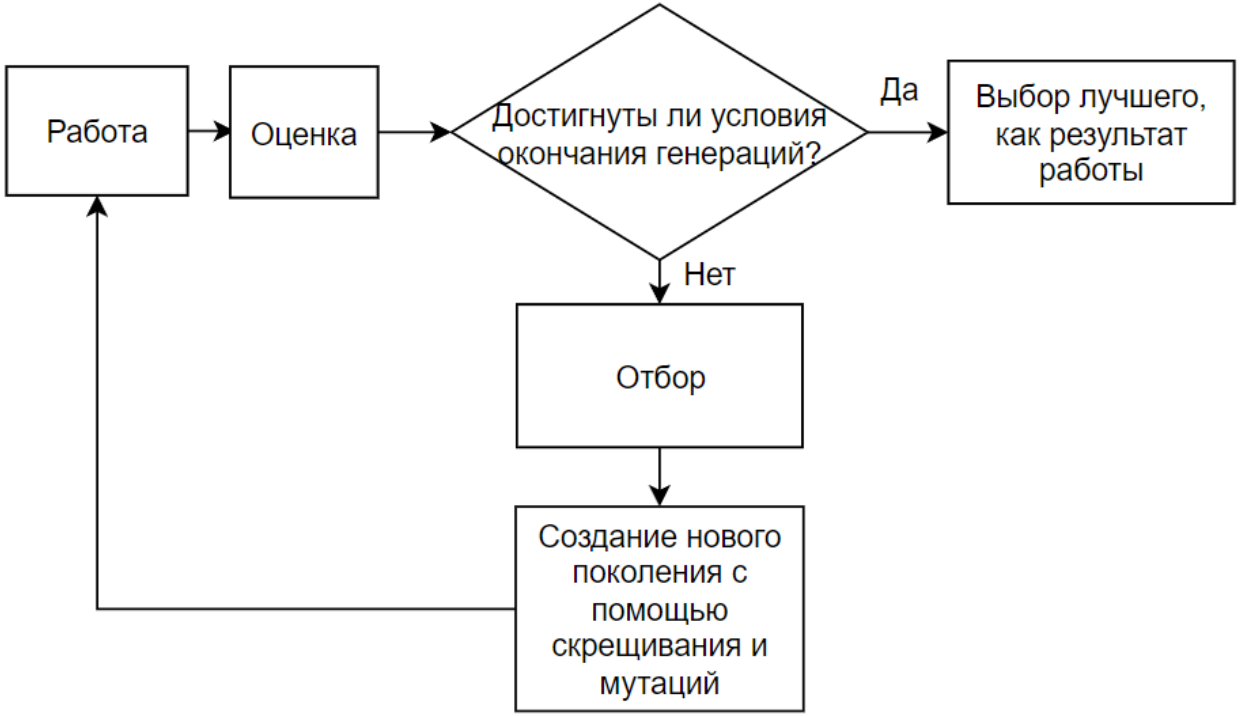


Рис. 1 – Общий алгоритм работы генетических алгоритмов

Критерии окончания генераций:

- получение приемлемого ответа
- ограничение количества генераций
- сходимость

Сходимость при различных вариантах генерации первого поколения

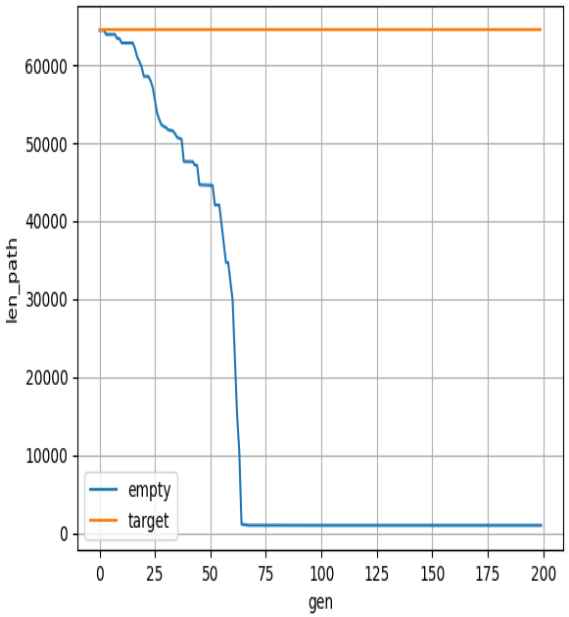


Рис. 2 – Пустая и целевая генерация

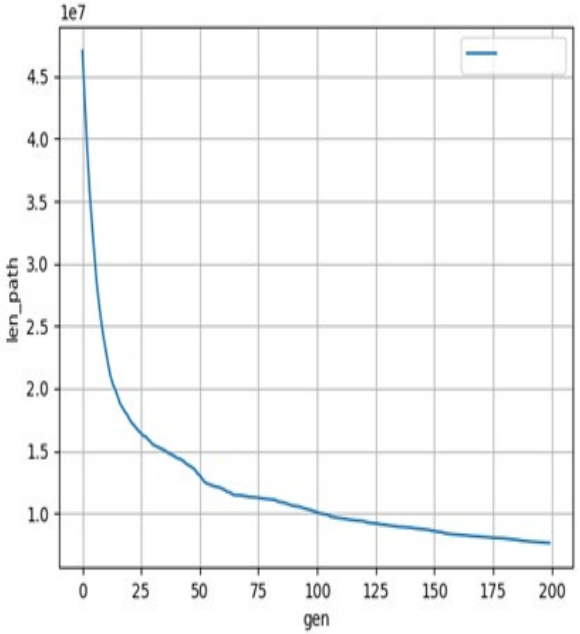


Рис. 3 – Случайная генерация

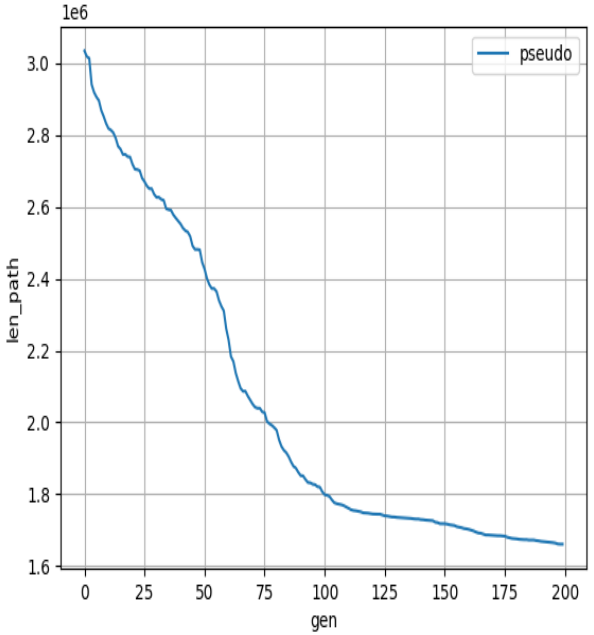


Рис. 4 –Псевдослучайная генерация

Связка с алгоритмом A*

Рис. 5 – Поиск маршрутов связки генетического алгоритма и A*

Выводы в отношении применения генетических алгоритмов в задачах поиска пути:

1) Тяжело настраиваемы
2) Требуют сложных механик улучшения решений
3) Не гарантируют оптимальности
4) Хорошо работают в связке с другими алгоритмами, улучшая их

Проблемы решения задач оптимизации с линейными ограничениями в случае пустой области допустимых решений при синтезе систем управления

Кучмин А.Ю., д.т.н., в.н.с.
Расова С.С., к.ф.-м.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук

2025 г.

Актуальность задачи

1. При решении практических задач в технических системах всё больше используются подходы, основанные на идеях условной оптимизации при большом количестве ограничений различного вида
2. В задачах синтеза технических систем требования к параметрам и характеристикам обычно задаются в виде ограничений, которые часто носят противоречивый характер
3. Задача идентификации динамических систем может быть сведена к задаче математического программирования, где модель динамической системы может описываться системой ограничений в виде неравенств.
4. Из-за того, что модель системы часто носит упрощенный характер и не полностью отражает её поведение, что обусловлено наличием шумов и влиянием внешних воздействий, система неравенств, описывающая модель, может быть противоречивой, а её решение пустым множеством

Задачи с линейными ограничениями

1. Многие задачи проектирования систем управления могут быть сведены к задачам оптимизации с линейными ограничениями, они рассматривались в трудах Немировского А. С., Юдина Д. Б., Гольштейна Е. Г., Табака Д., Куо Б., Т. Моцкина, Л.Г. Хачияна и др.
2. Эффективным способом решения задач оптимизации с произвольными ограничениями является разбиение исходной задачи на последовательность задач с линейными ограничениями.
3. Целевая функция над данной областью может быть аппроксимирована квадратичной формой.
4. При дальнейшем решении этой последовательности задач из-за ошибок аппроксимации области допустимых решений могут оказаться вырожденными, хотя исходная задача может иметь решение.
5. Поэтому разработка методов коррекции областей допустимых решений, образованных линейными ограничениями в результате аппроксимации, является актуальной.

Постановка задачи для метода единственного решения

1. Введем понятие нежестких ограничений, которые учитывают погрешности и неточности моделей. Наиболее простой вариант задания таких ограничений – это возможность смещать их в ходе решения задачи синтеза системы управления в допустимых пределах.
2. Цель синтеза системы управления задается как нахождение минимума целевой функции $\Phi_{\mathbf{x}}$ при системе ограничений $\mathbf{G(x)} \geq 0$.
3. Система ограничений формируется в качестве модели объекта управления и в дальнейшем аппроксимируется системой линейных ограничений, что является стандартным подходом при решении подобного рода задач.
4. Идеальная нелинейная модель $\mathbf{G(x)} \geq 0$ имеет довольно узкую область допустимых решений. При аппроксимации системой линейных ограничений эта область искажается и может стать вырожденной.
5. Исходная целевая функция аппроксимируется квадратичной формой, и эта квадратичная форма минимизируется над областью из линейных ограничений.

Постановка задачи для метода единственного решения

6. Необходимо получить такое решение новой задачи, чтобы ее решение с определенной точностью совпадало с решением исходной задачи.
7. В случае если область допустимых решений модифицированной задачи не является вырожденной, то решение находится классическими методами, например, методом Вульфа.
8. Если область является вырожденной, то предлагается следующий метод решения задачи. Ситуация может развиваться двумя направлениями. Анализируются ограничения и смещаются согласно их приоритетам, которые задаются на стадии проектирования, чтобы получить непустую область допустимых решений. А потом значения целевой функции вычисляются в данной точке. Второй вариант – это сдвиг ограничений с учетом изменений целевой функции.
9. Идея метода единственного решения заключается в нахождении единственной точки, удовлетворяющей смещенным ограничениям, при минимизации штрафа за сдвиг ограничений

Решение задачи по методу единственного решения

$$g_i(\mathbf{x}) = \mathbf{A}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{x} + b_i \geq 0,\ i = 1,\ldots,m,$$

$\mathbf{A}_i$ – вектор параметров ограничений, **x** – вектор варьируемых переменных размерности n, b_i – смещение ограничения. Количество ограничений во много раз больше числа варьируемых переменных.

$$\Phi_\lambda = \frac{1}{2}\sum_i \lambda_i^2 w_i,$$

w_i - коэффициент штрафа в диапазоне [0, 1], где 0 будет означать, что ограничение можно исключить из рассмотрения, а 1 – жесткие ограничения, имеющие максимальный приоритет, λ_i - перемещение ограничения.

$$\lambda_i = -\mathbf{e}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{x} - \frac{b_i}{|\mathbf{A}_i|},\ \mathbf{e}_i = \frac{\mathbf{A}_i}{|\mathbf{A}_i|},\ i = 1,\ldots,m.$$

Решение задачи по методу единственного решения

Решим задачу поиска минимума функции штрафа

$$J = \min_{\mathbf{x}} \Phi_\lambda .$$

$$\nabla_{\mathbf{x}} \Phi_\lambda = 0, \quad \frac{\partial \Phi_\lambda}{\partial x_j} = \left[\sum_i e_{i,j} \mathbf{e}_i^{\mathrm{T}} w_i \right] \mathbf{x} + \left[\sum_i e_{i,j} \frac{b_i}{|\mathbf{A}_i|} w_i \right] = 0, \; j = 1,\ldots,n, \quad i = 1,\ldots,m.$$

Решив систему уравнений, найдем оптимальное $\mathbf{x}_0$. В системе уравнений матрица при $\mathbf{x}$ может быть вырожденной для случая, когда возникают несколько точек в скорректированной области допустимых решений

Решение задачи по методу единственного решения

На практике при нахождении $\mathbf{x}_0$ необходимо учитывать изменение целевой функции Φ_x.

$$\Phi_{\mathbf{x}} = \frac{1}{2}\mathbf{x}^{\mathrm{T}}\mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{f}\mathbf{x} + c,$$

где **H** – матрица параметров целевой функции, **f** – вектор-строка параметров целевой функции, *c* – константа.

$$J^* = \min_{\mathbf{x}} \Phi, \ \Phi = \Phi_{\mathbf{x}} + \Phi_{\lambda}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x_j} = \left[\mathbf{h}_j + \sum_i e_{i,j}\mathbf{e}_i^{\mathrm{T}} w_i\right]\mathbf{x} + \left[f_j + \sum_i e_{i,j}\frac{b_i}{|\mathbf{A}_i|}w_i\right] = 0, \quad j = 1,\ldots,n, \quad i = 1,\ldots,m.$$

$\mathbf{h}_j$ – *j*-тая строка матрицы **H**. Решив систему уравнений, будет найдено оптимальное значение $\mathbf{x}_0$.

Модификация метода единственного решения с помощью штрафных функций

Следует отметить, что существует два процесса при перемещении ограничений типа неравенства, а именно: ужесточение и ослабление ограничений. Ужесточение ограничений в системе обладает меньшим вкладом в функцию Φ_λ, чем ослабление ограничений.

$$w_i = w_{0,i} \exp\left(\beta\lambda_i\right)$$

После получения текущего значения **x** смотрится выполнение ограничений, и рассчитываются новые весовые коэффициенты.

$$\Phi_\lambda^* = \sum_i w_{0,i} \exp\left(\beta\lambda_i\right)\lambda_i^2,$$

Определение качества решения может выполняться согласно данной оценочной функции

Модификация метода единственного решения с помощью штрафных функций

Алгоритм.

1. Введение параметров ограничений и целевой функции исходной задачи.
2. Ввод весовых коэффициентов ограничений и количества итераций алгоритма.
3. Формируется система уравнений

$$\left[\mathbf{h}_j + \sum_i e_{i,j}\mathbf{e}_i^{\mathrm{T}} w_i\right]\mathbf{x} + \left[f_j + \sum_i e_{i,j}\frac{b_i}{|\mathbf{A}_i|}w_i\right] = 0$$

4. Находится ранг матрицы

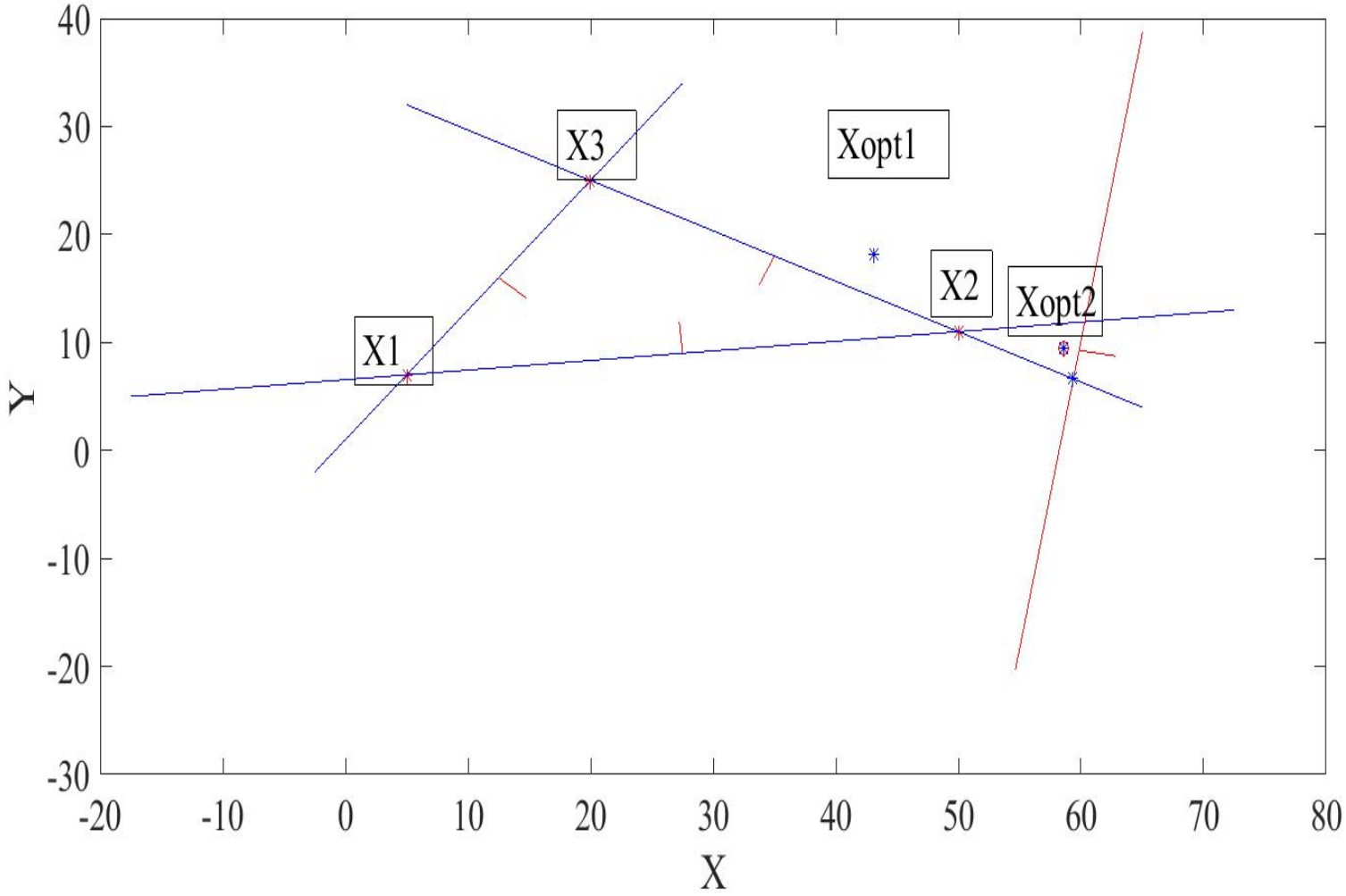
$$\left[\mathbf{h}_j + \sum_i e_{i,j}\mathbf{e}_i^{\mathrm{T}} w_i\right]$$

Если матрица невырожденная, то находится значение x как решение системы уравнений (3). Если матрица вырожденная, то имеется несколько решений. Соответственно задача будет решаться методом псевдообращения матрицы.

Модификация метода единственного решения с помощью штрафных функций

5. Проверяется выполнение ограничений исходной системы. Рассчитываются новые значения весовых коэффициентов ограничений и рассчитывается значение функции штрафа. Осуществляется переход в пункт 3, если не превышено количество итераций алгоритма. Если количество итераций превышено, то из рассчитанных значений для **x** и λ выбираются те, которые соответствуют минимуму штрафной функции для всех итераций.
6. Вывод **x** и уточненной системы ограничений с учетом смещения ограничений λ.

Модификация метода единственного решения с помощью штрафных функций. Результаты моделирования.



Спасибо за внимание!

ГУАП

Современная складская логистика: внедрение RFID-технологий для повышения эффективности

А. Б. Морозов
аспирант

А. А. Безгодов
кандидат военных наук, доцент

Оптимизация складской логистики

Площадь

Оптимизация использования складской площади.

Процессы

Совершенствование складских процессов.

Автоматизация

Внедрение автоматизированных систем.

Методы идентификации товара

Штрихкодирование

Сканируемые штрихкоды для быстрого определения товара.

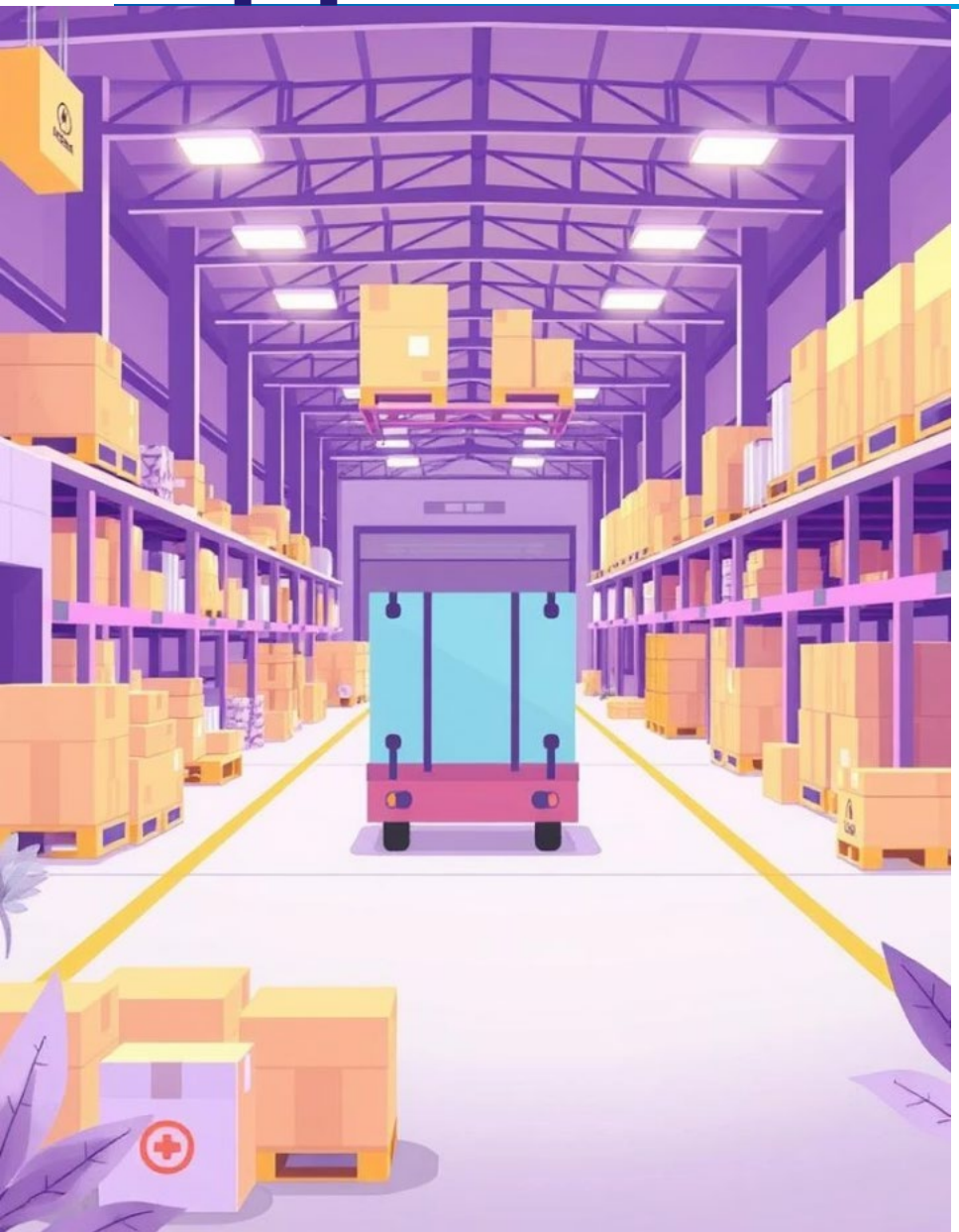
Ручная идентификация

Этикетки и маркировка с информацией о товаре.

RFID-метки

Отслеживание в реальном времени на всех этапах.

Эффективные складские процессы



1. Планирование
2. Приёмка
3. Хранение
4. Отгрузка

Преимущества автоматической идентификации

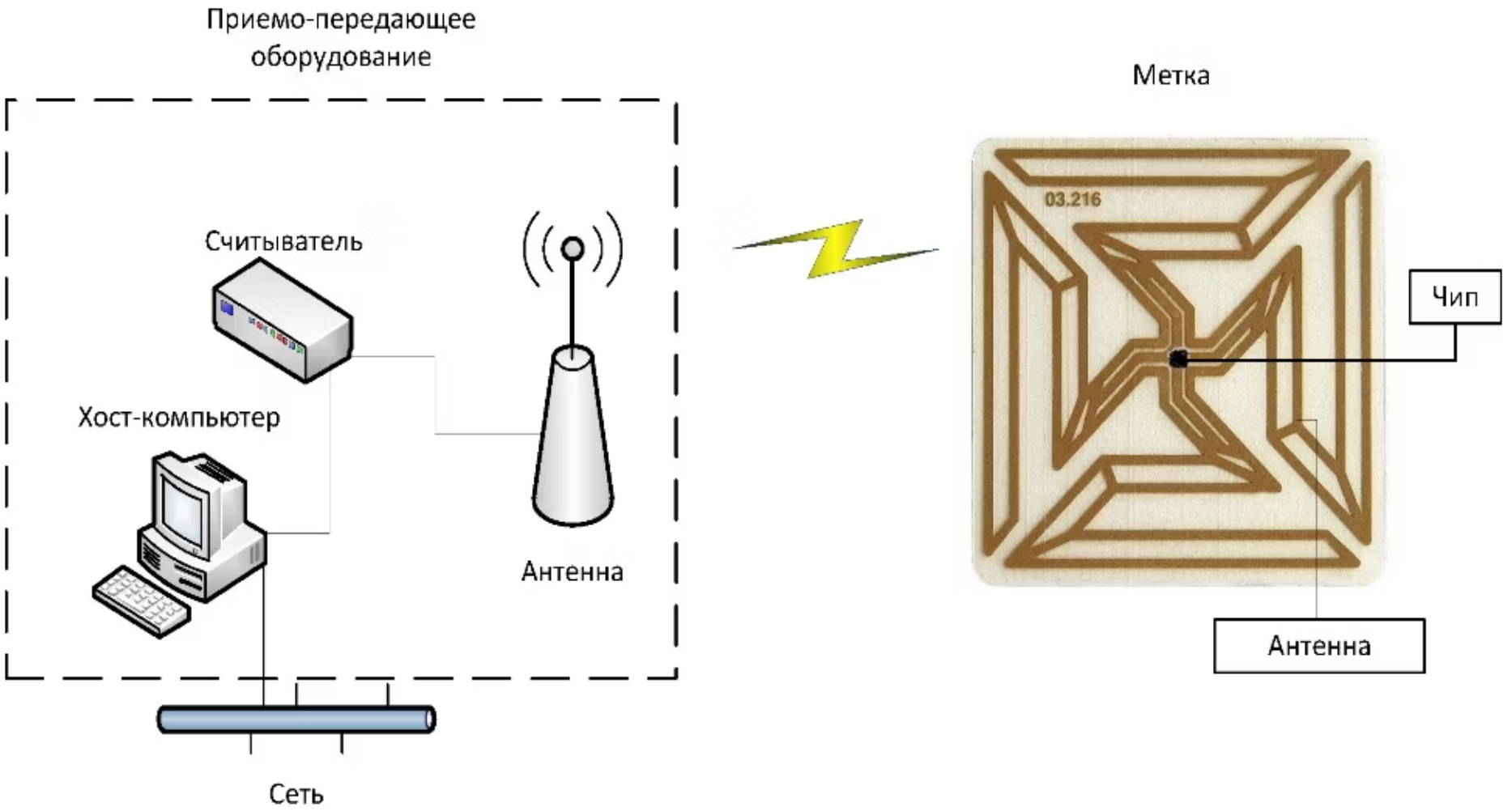
Скорость

Точность

Управление

Увеличение скорости, сокращение ошибок, улучшение управления поставками.

Состав RFID-системы



Преимущества RFID перед штрихкодами

Скорость

Ускоряет поиск и инвентаризацию.

Объем

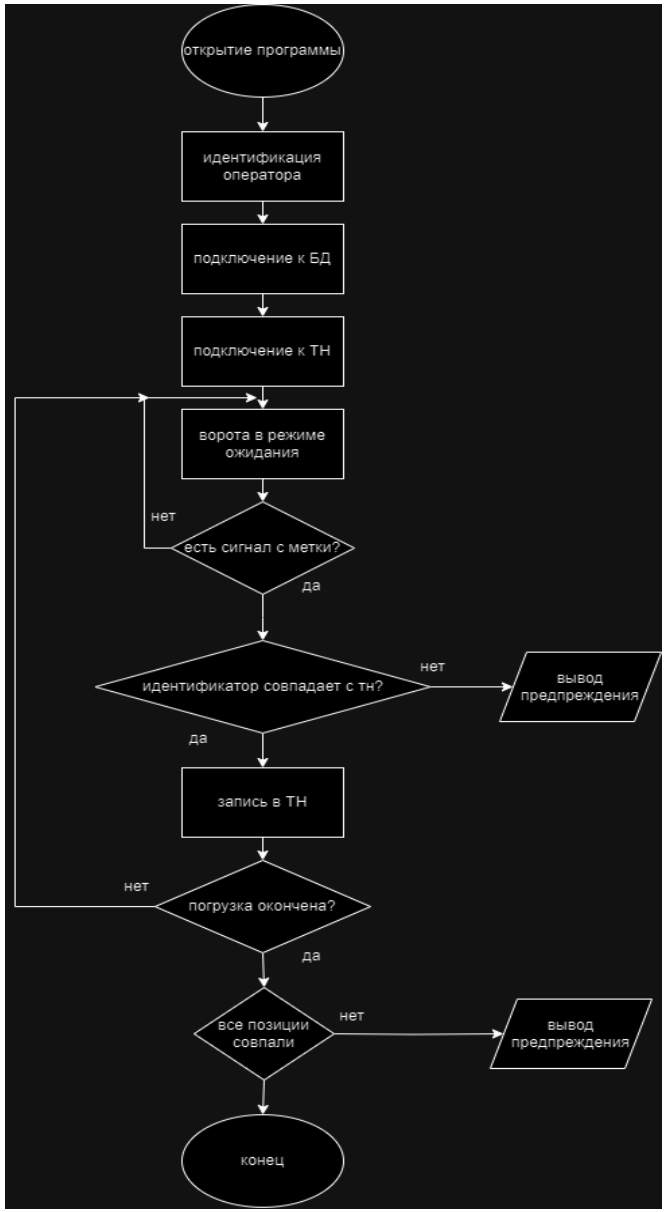
Хранит больше информации.

Защита

Возможность защиты данных.

RFID-ворота

Алгоритм RFID-ворот



RFID-тележка

1. Групповое использование
2. Точность идентификации
3. Интеграция с роботами

ГУАП
https://guap.ru

Спасибо за внимание!

Использование иррациональных функций для аппроксимации типовых статических нелинейностей систем автоматического управления

Авторы: Рулев А.М., Брунов М.С., Криволапчук И.Г., Шишлаков В.Ф.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Цель работы: подтвердить эффективность аппроксимации типовых статических нелинейностей иррациональными функциями применительно к некоторым рассматриваемым случаям.

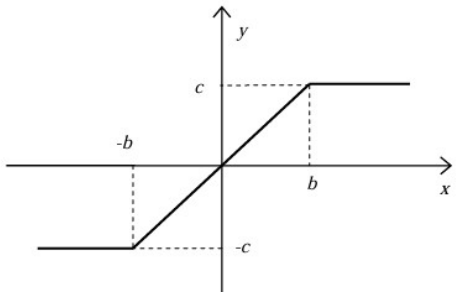
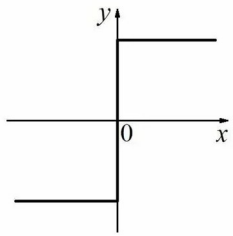
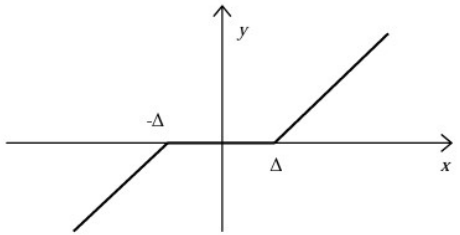
Задачи:

- Выполнить поиск параметров иррациональной аппроксимирующей функции для нелинейных систем с типовыми нелинейными характеристиками;
- Выполнить анализ исходных и аппроксимированных статических характеристик нелинейных элементов (НЭ);
- Сравнить переходные процессы на выходе исходных и аппроксимированных систем.

Аппроксимирующая функция:

$$F = \frac{Ax}{B + x^2} + C|x|^{0,3}$$

Типовые статические нелинейности:

«Насыщение»	«Реле»	«Зона нечувствительности»
$y = \begin{cases} -c, x < -b, \\ kx, -b \le x \le b, \\ c, x > b. \end{cases}$ 	$y = k\,sign(x)$ 	$y = \begin{cases} 0, \lvert x \rvert \le \Delta, \\ k(x - \Delta\,sign(x)), \lvert x \rvert > \Delta. \end{cases}$ 

Аппроксимирующая функция:

$$F = \frac{A_1 x}{B_1 + x^2} + \frac{A_2 x}{B_2 + x^2},$$

где A1 = 0,36, A2 = 2,77, B1 = 0,094, B2 = 4,96.

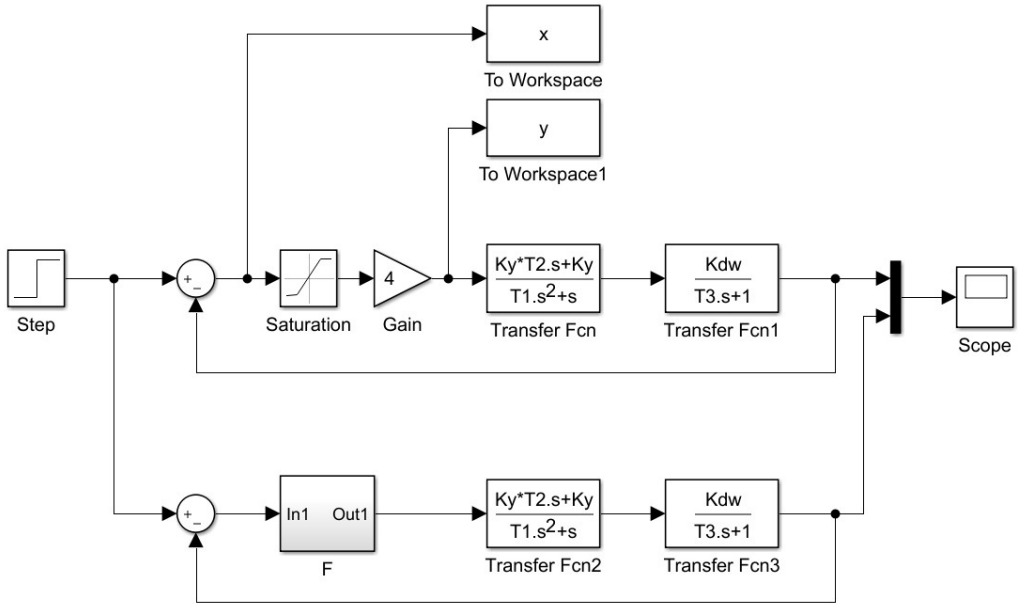


Рисунок 1 – Структурная схема модели системы с нелинейностью «насыщение»

Аппроксимация нелинейности «насыщение»

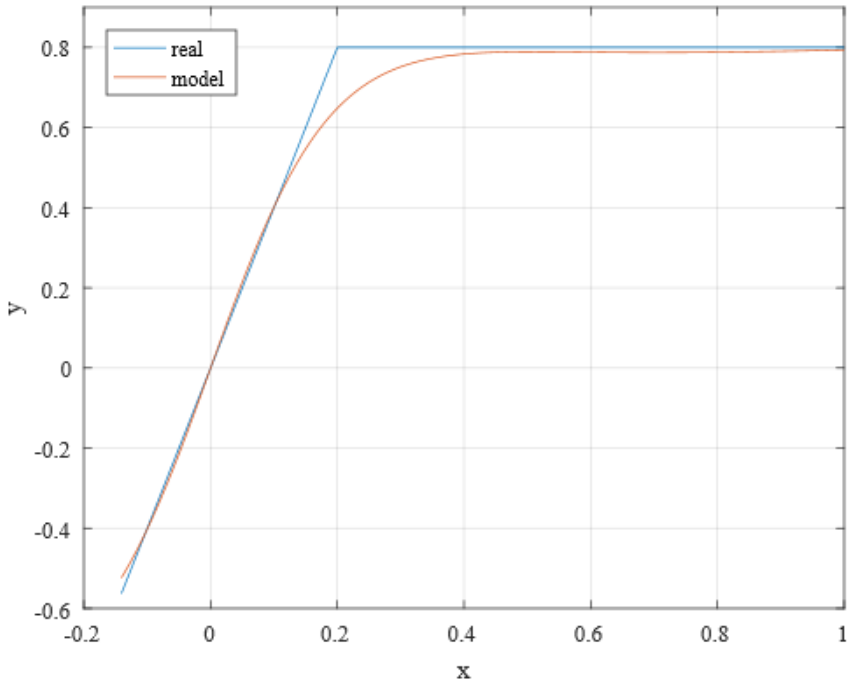


Рисунок 2 – Статические характеристики исходного (real) и аппроксимированного (model) НЭ «насыщение»

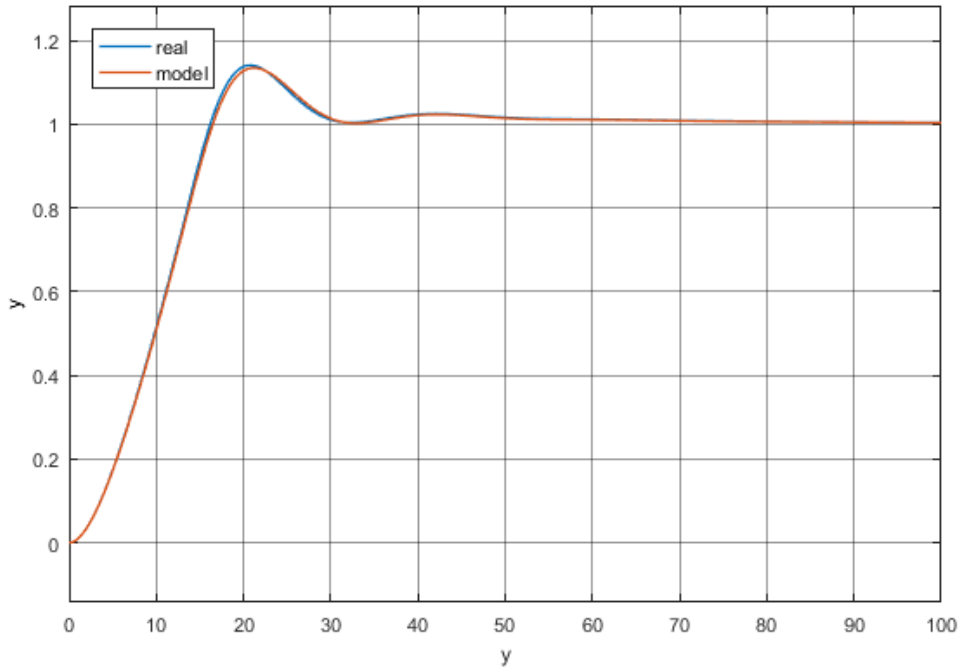


Рисунок 3 – Переходные процессы в исходной (real) и аппроксимированной (model) системе с НЭ «насыщение»

Аппроксимирующая функция:

$$F = \frac{A_1 x}{B_1 + x^2} + \frac{A_2 x}{B_2 + x^2},$$

где A1 = 25,9, B1 = 11,74, A2 = -2,1, B2 = 1.

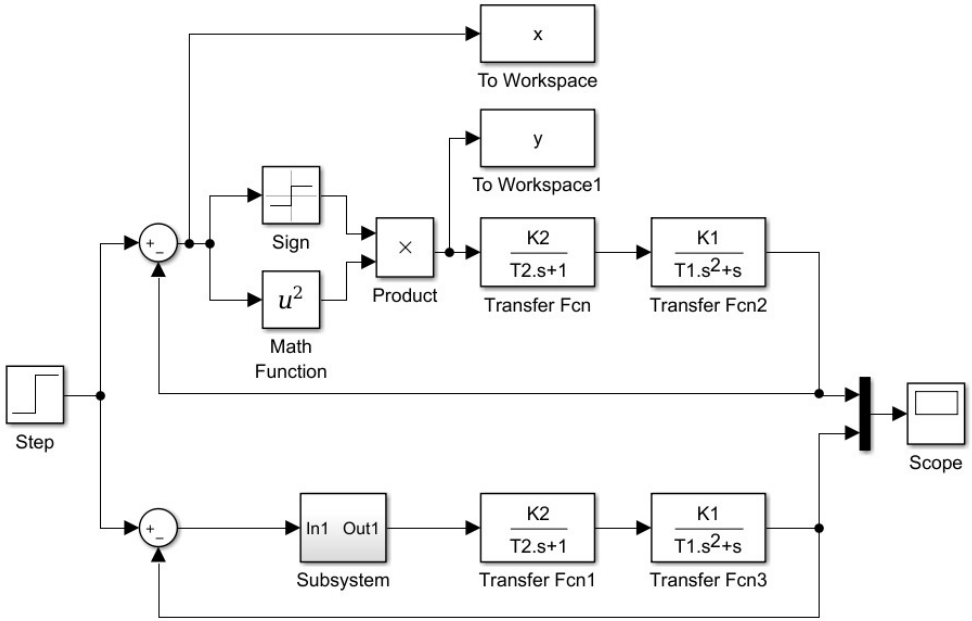


Рисунок 4 – Структурная схема модели системы с нелинейностью вида y = sign(x)*x^2

Аппроксимация нелинейности «реле»

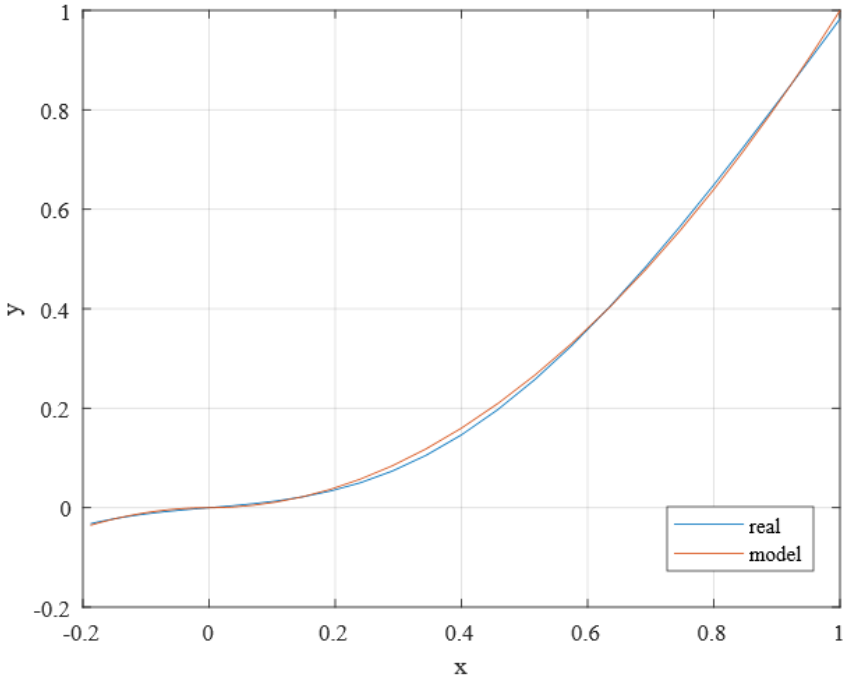


Рисунок 5 – Статические характеристики исходной (real) и аппроксимированной (model) нелинейности вида $y = sign(x)*x^2$

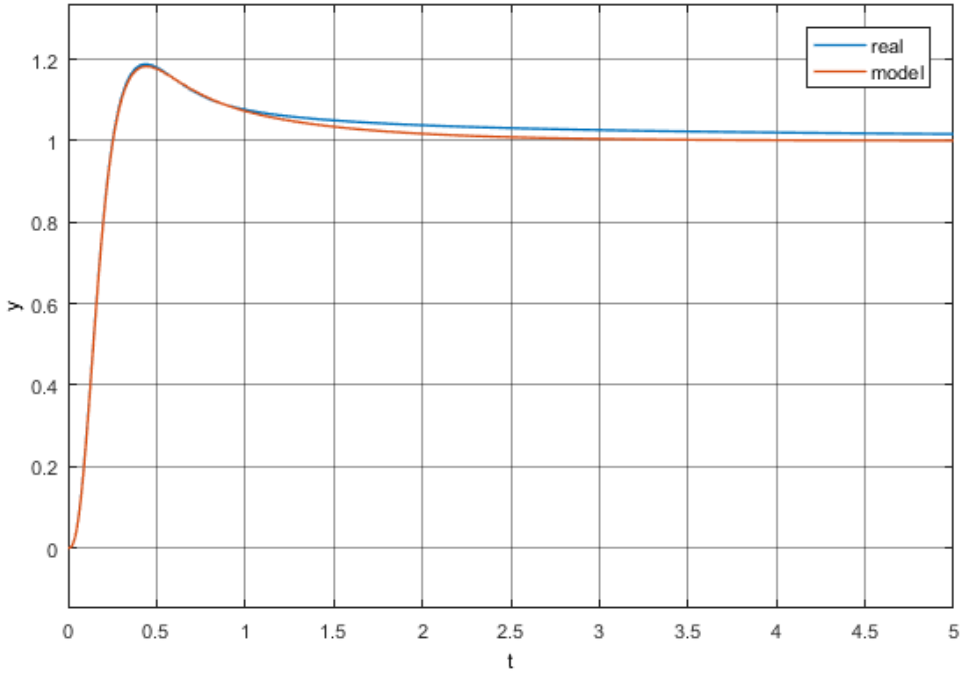


Рисунок 6 – Переходные процессы в исходной (real) и аппроксимированной (model) системе с нелинейностью вида $y = sign(x)*x^2$

Аппроксимирующая функция:

$$F = \frac{A_1}{B_1 + x^2} + \frac{A_2}{B_2 + x^2} + \frac{A_3}{B_3 + x^2},$$

где A1 = $-2{,}6 \cdot 10^{-6}$, B1 = $2{,}5 \cdot 10^{-6}$, A2 = $8{,}8 \cdot 10^{-4}$, B2 = 0,0033, A3 = 0,0027, B3 = 0,0038.

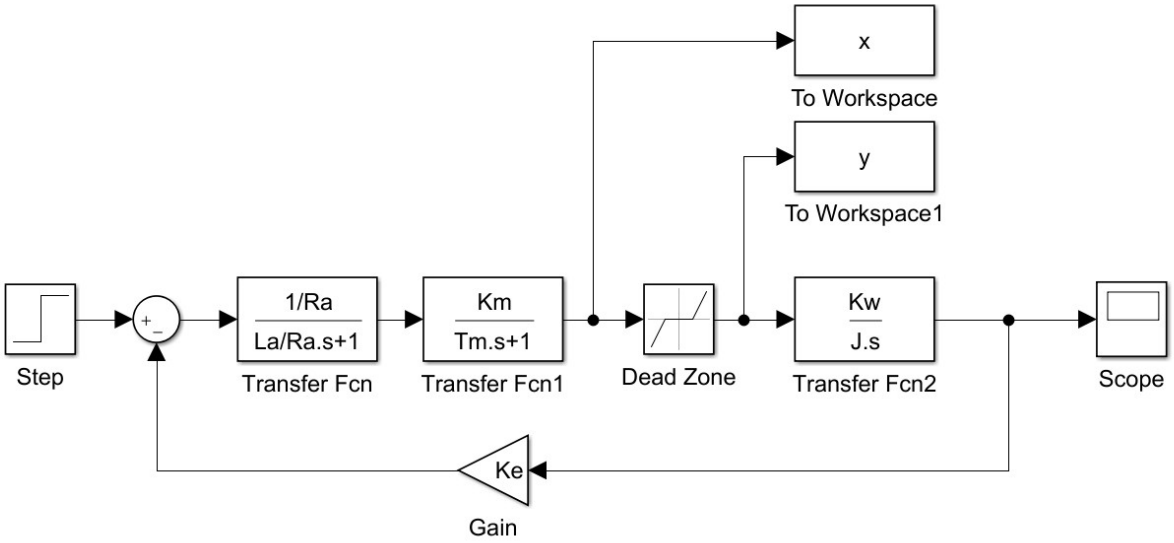


Рисунок 7 – Структурная схема модели системы с НЭ «зона нечувствительности»

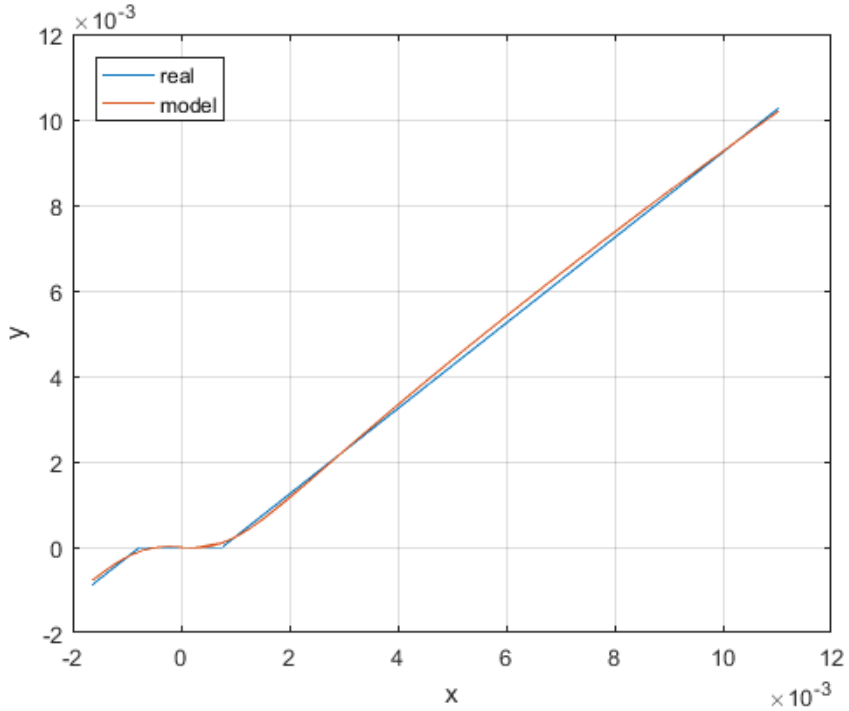


Рисунок 8 – Статические характеристики исходного (real) и аппроксимированного (model) НЭ «зона нечувствительности»

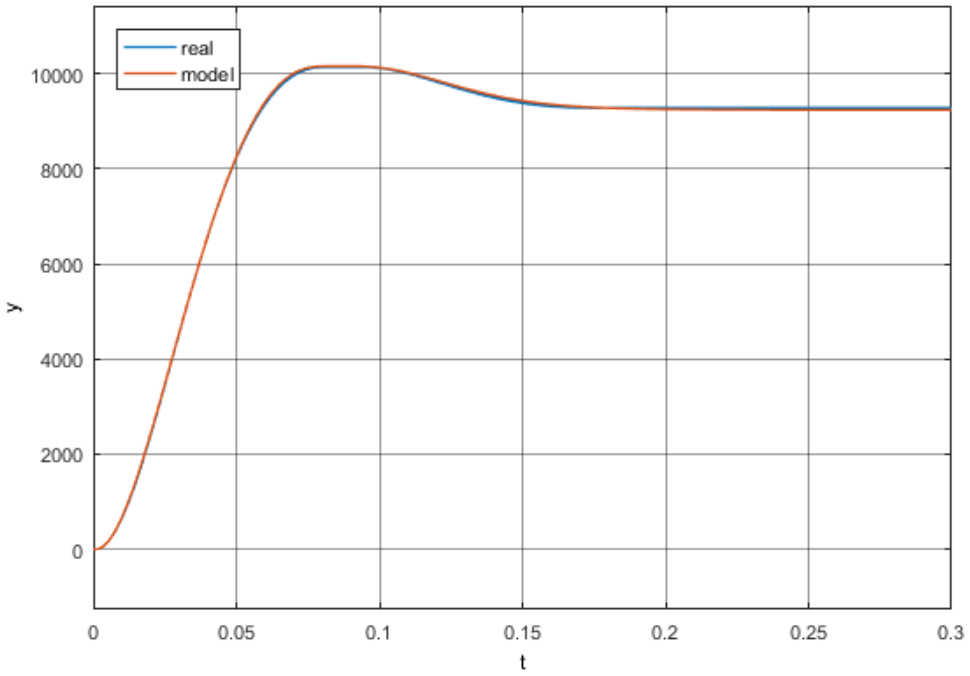


Рисунок 9 – Переходные процессы в исходной (real) и аппроксимированной (model) системе с НЭ «зона нечувствительности»

Авторы: Рулев А.М., Якимовский Д. О.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Цель работы: уточнение математической и имитационной модели исполнительного электропривода (ИЭП) путём исследования процесса сбоя микроконтроллера (МК) блока управления приводом (БУП) и МК измерителя углового положения (ИУП).

Задачи:

- Разработать имитационные модели, отражающие процессы сбоя МК БУП и МК ИУП;
- Выполнить оценку влияния длительности сбоев на переходные процессы по скорости вращения подвижной системы (ПС) на выходе ИЭП;
- Определить максимально допустимые значения длительности сбоев МК БУП и МК ИУП.

Постановка задачи

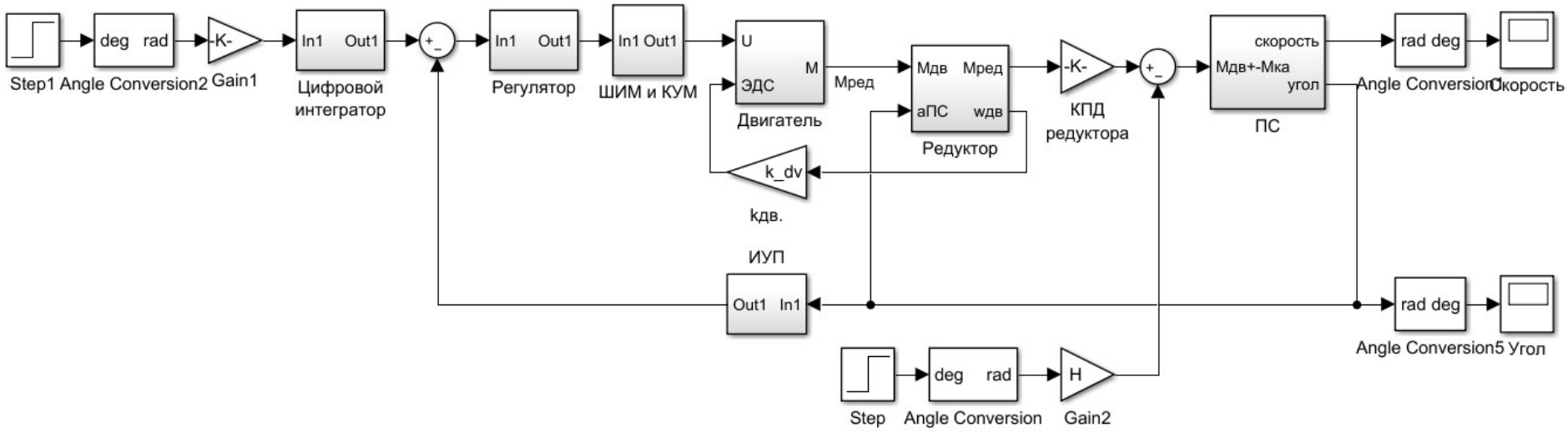


Рисунок 1 – Структурная схема математической модели ИЭП (общий вид)

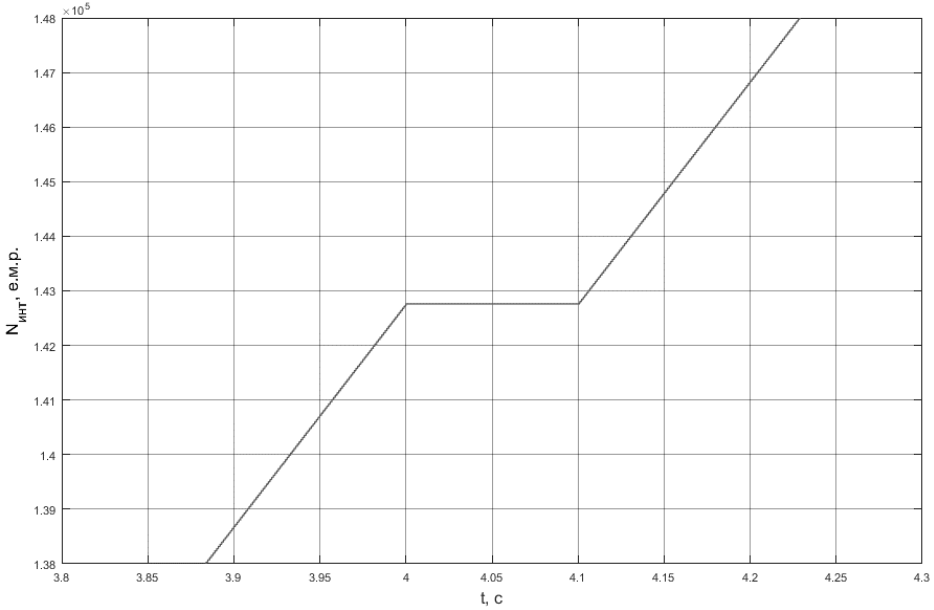


Рисунок 2 – Динамическая характеристика цифрового интегратора в режиме сбоя МК БУП

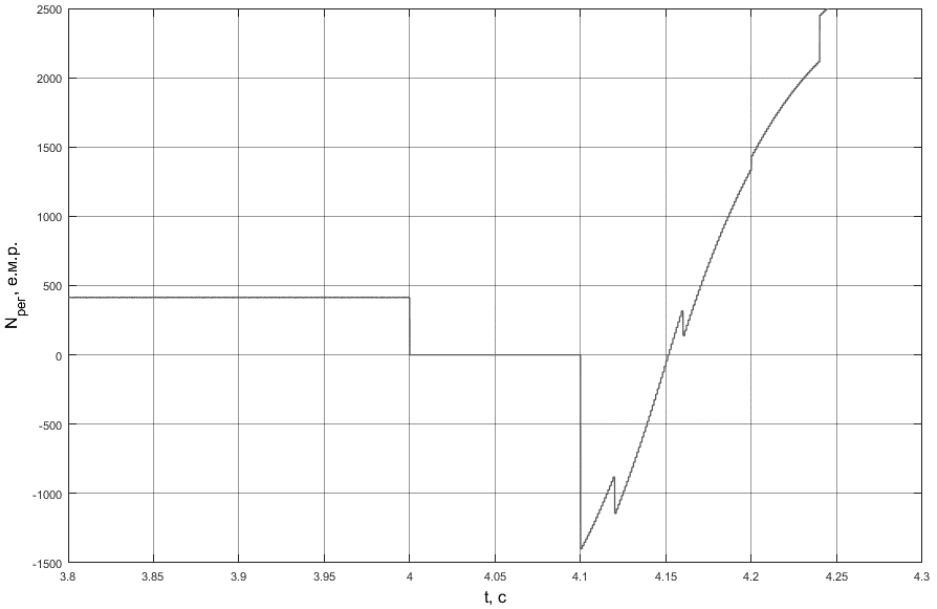


Рисунок 3 – Динамическая характеристика цифрового регулятор угла в режиме сбоя МК БУП

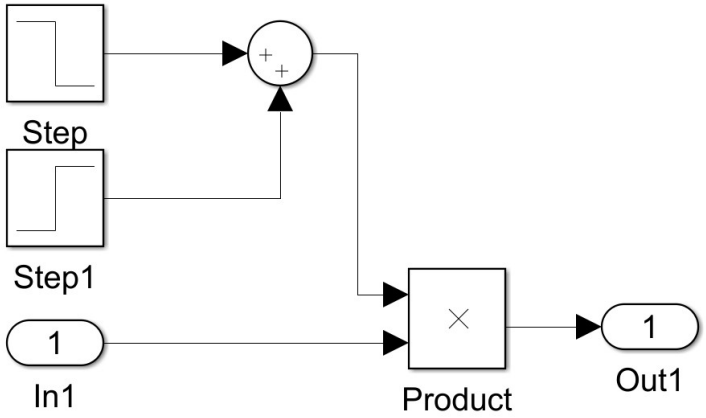


Рисунок 4 – Структурная схема модели, имитирующей сбой МК БУП

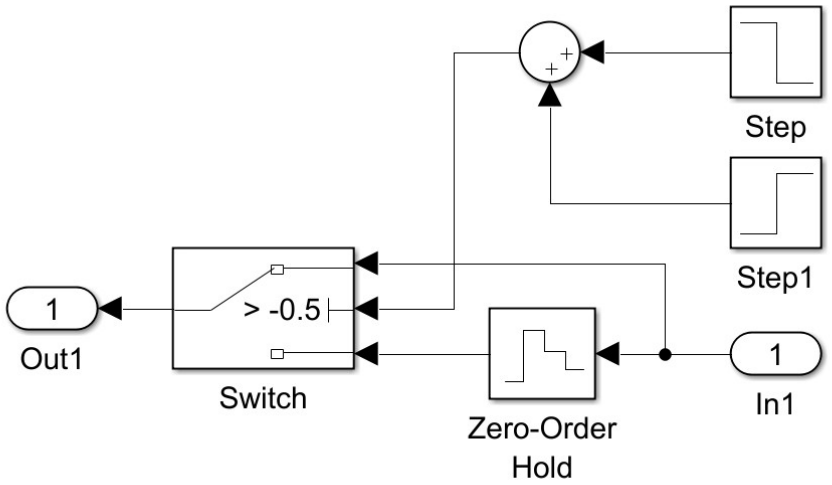


Рисунок 5 – Структурная схема модели, имитирующей сбой МК ИУП

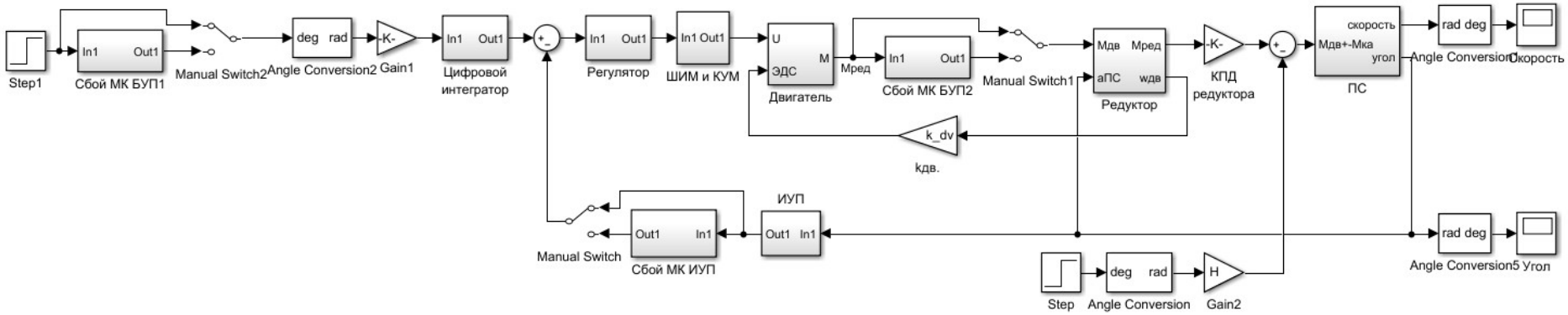


Рисунок 6 — Структурная схема математической модели ИЭП в режиме сбоя МК БУП и МК ИУП (общий вид)

Критерий оценки качества переходных процессов:

$$\omega_0 - \omega_{ср} \leq \Delta\omega_{max}$$

где ω_0, $\omega_{ср}$ – задаваемое и среднее значение угловой скорости ПС соответственно, $\Delta\omega_{max}$ – допускаемое отклонение средней угловой скорости ПС от задаваемой,

$$\omega_{ср} = \frac{1}{T}\int_0^T \omega(t)\,dt,$$

где T = 1 с — интервал осреднения.

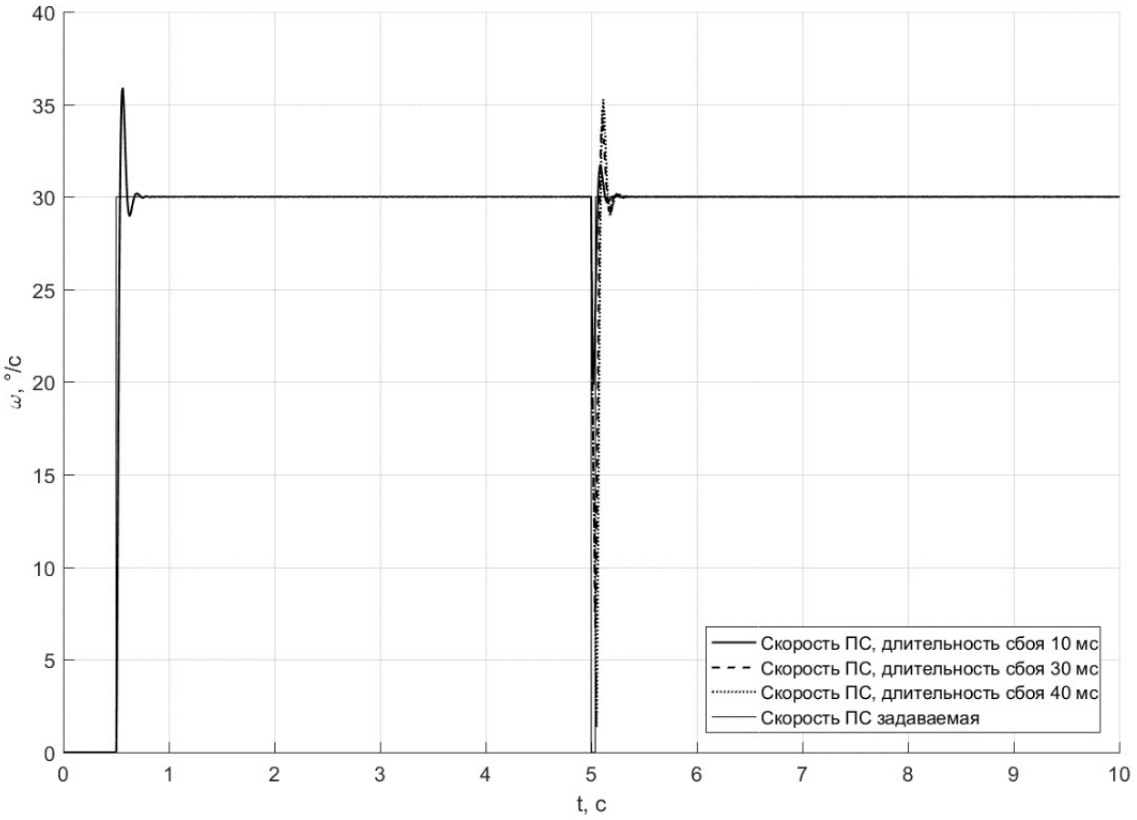


Рисунок 7 – Переходные процессы по скорости вращения ПС при сбое МК БУП, $\omega_0 = 30°/c$, $\omega_{КА} = 0°/c$ (общий вид)

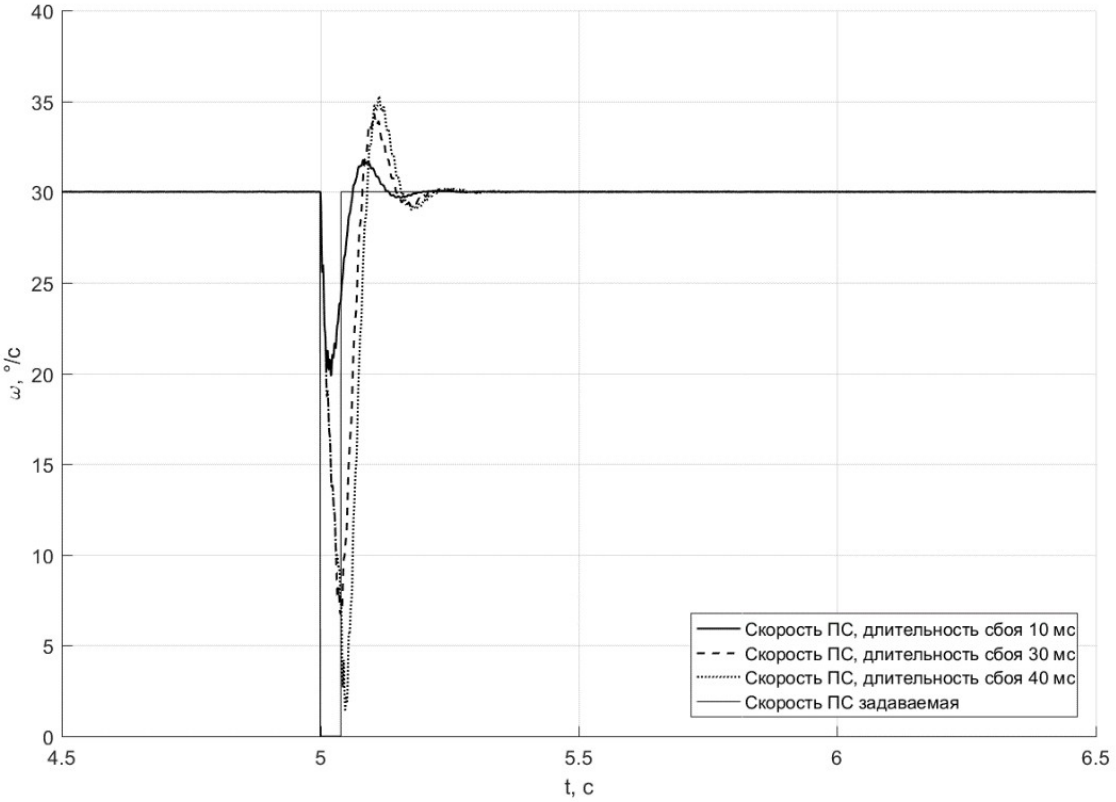


Рисунок 8 – Переходные процессы по скорости вращения ПС при сбое МК БУП, ω_0=30°/с, $\omega_{КА}$=0°/с (увеличенный масштаб)

Определение максимальной допустимой длительности сбоя МК БУП

Таблица 1 — Результаты оценки максимальных отклонений скорости вращения ПС от задаваемой при сбое МК БУП

Режим ИЭП	$t_{сб}$, мс	$\Delta\omega$, °/с	$\Delta\omega_{max}$, °/с
$\omega_{ПС}$=30°/с, $\omega_{КА}$=0 °/с	10	0,15	0,5
	20	0,3	
	30	0,4	
	40	**0,59**	
$\omega_{ПС}$=30°/с, $\omega_{КА}$=2 °/с	10	0,15	
	20	0,3	
	30	0,4	
	40	**0,59**	
$\omega_{ПС}$=30°/с, $\omega_{КА}$=-2 °/с	10	0,15	
	20	0,3	
	30	0,4	
	40	**0,59**	

В таблице 1 приняты следующие обозначения: $t_{сб}$ — длительность сбоя, $\Delta\omega$ – максимальное отклонение скорости вращения ПС от задаваемой, $\Delta\omega_{max}$ – максимальное допустимое отклонение скорости вращения ПС от задаваемой.

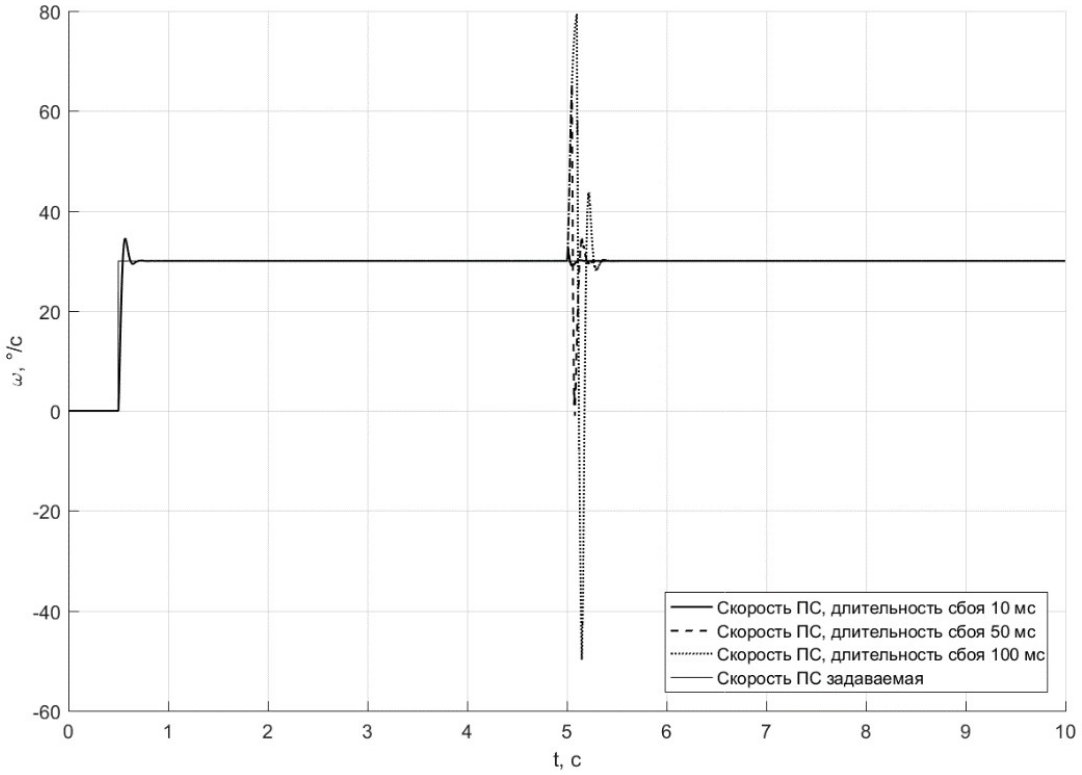


Рисунок 9 – Переходные процессы по скорости вращения ПС при сбое МК ИУП, $\omega_0 = 30°/c$, $\omega_{КА} = 0°/c$ (общий вид)

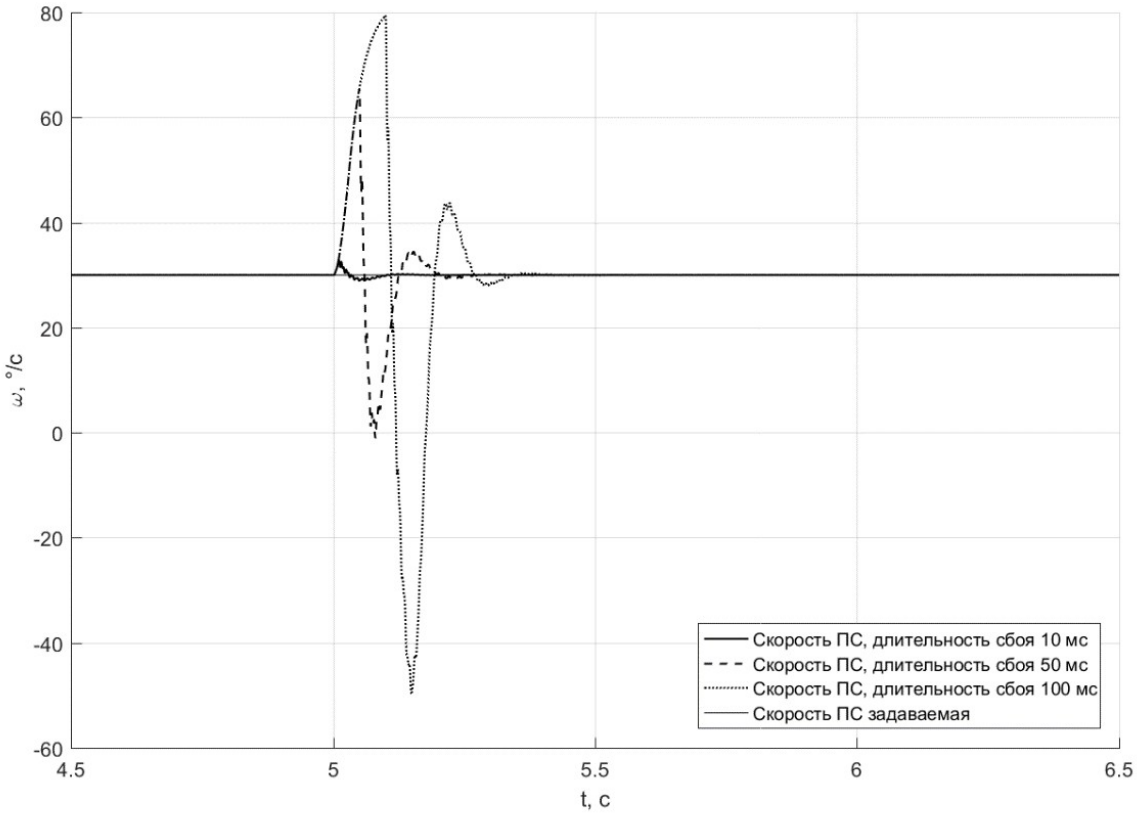


Рисунок 10 – Переходные процессы по скорости вращения ПС при сбое МК ИУП, ω_0=30°/с, $\omega_{КА}$=0°/с (увеличенный масштаб)

Определение максимальной допустимой длительности сбоя МК ИУП

Завалишинские чтения

Таблица 2 — Результаты оценки максимальных отклонений скорости вращения ПС от задаваемой при сбое МК ИУП

Режим ИЭП	$t_{сб}$, мс	$\Delta\omega$, °/с	$\Delta\omega_{max}$, °/с
$\omega_{ПС}$=30°/с, $\omega_{КА}$=0 °/с	10	0,005	0,5
	50	0,005	
	100	**0,005**	
$\omega_{ПС}$=30°/с, $\omega_{КА}$=2 °/с	10	0,005	
	50	0,005	
	100	**0,005**	
$\omega_{ПС}$=30°/с, $\omega_{КА}$=-2 °/с	10	0,005	
	50	0,004	
	100	**0,005**	

Выводы

В результате проведённого исследования установлено, что

- сбои МК БУП и МК ИУП в установившемся режиме работы ИЭП приводят к возникновению переходных процессов по скорости;

- максимальные отклонения скорости вращения ПС от задаваемых значений с увеличением длительности сбоя возрастают;

- Максимальные допускаемые значения длительности сбоя МК БУП и МК ИУП, до достижения которых выполняются требования по точности отработки угловой скорости вращения ПС и плавности регулирования углового положения ПС, составляют:

  1) $t_{сб\ МК\ БУП\ max} = 30$ мс,

  2) $t_{сб\ МК\ ИУП\ max} = 50$ мс.

Завалишинские чтения

Автор - С.Г. Фомичева, к.т.н., профессор

Организация - Санкт-Петербургский университет аэрокосмического приборостроения

Сравнительные аспекты разработки безопасных конвейеров машинного обучения

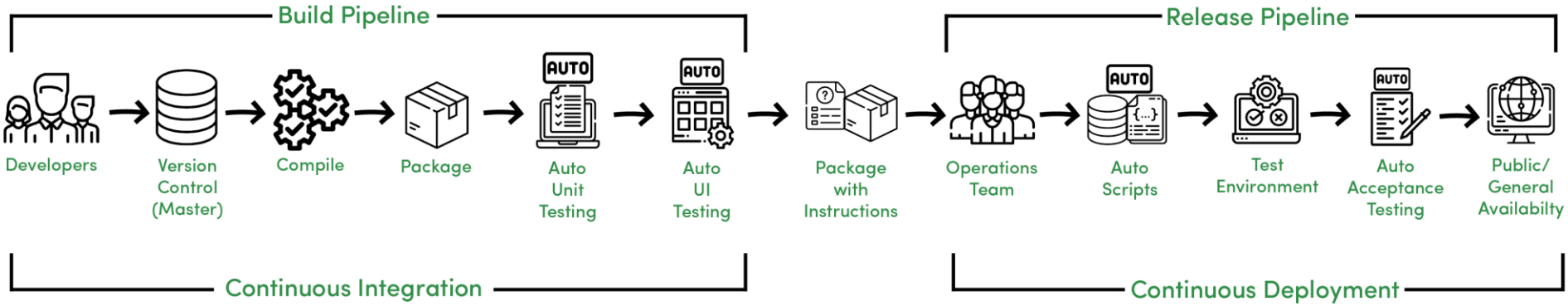
Санкт-Петербург
2025

Содержание доклада:

1. Актуальность разработки безопасных конвейеров машинного обучения
2. Отличительные признаки поколений программного обеспечения
3. Особенности процессов машинного обучения, влияющие на информационную безопасность
4. ML-конвейер, удовлетворяющий техникам MLSecOps
5. Результаты анализа стадий жизненного цикла создания безопасных приложений
6. Выводы

1. Актуальность разработки безопасных конвейеров машинного обучения

Традиционный методологический подходы к разработке сложного программного обеспечения – **последовательное** (с возможными итерациями) **выполнение этапов** планирования, проектирования, разработки, интеграции и тестирования программного обеспечения.



1. Актуальность разработки безопасных конвейеров машинного обучения

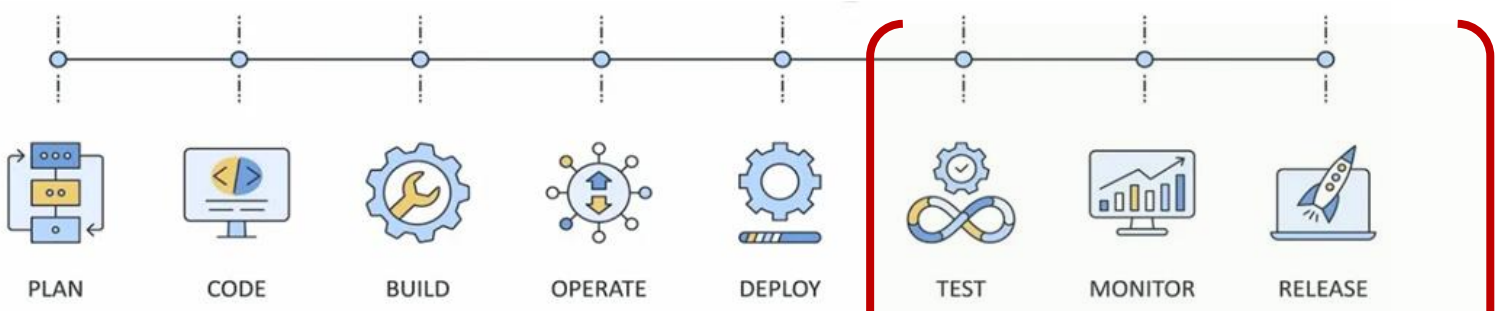
В контексте разработки систем искусственного интеллекта (СИИ) недостатки традиционного подхода следующие:

1. Стадии конвейеров машинного обучения (**ML-конвейеров**) и традиционного программного обеспечения **принципиально отличаются**;
2. Последовательный процесс **слишком медленен с** точки зрения ожиданий рынка на запрос об **обновлении интеллектуальных компонент**, входящих в состав систем искусственного интеллекта.
3. При последовательном процессе вопросы обеспечения информационной безопасности рассматриваются, как правило, **на заключительных этапах**, что приводит **к позднему выявлению критических уязвимостей**, требующих существенного перепроектирования архитектуры и структур данных

Цель работы - систематизировать **отличия** ML-конвейеров и **задачи** обеспечения информационной безопасность для КАЖДОГО этапа ML-конвейера.

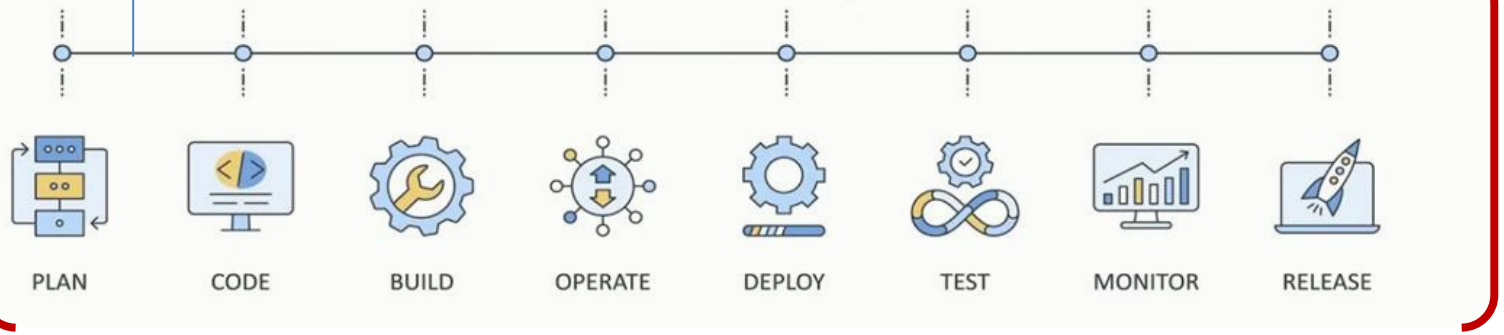
1. Актуальность разработки безопасных конвейеров машинного обучения

DevOps:



«Сдвиг влево» встраивания ИБ-механизмов

DevSecOps:



2. Отличительные признаки поколений программного обеспечения

Сравнительная характеристика	**Традиционное ПО (Software 1.0)**	**AI = Software 2.0**
Принцип функционирования	Фиксированная программная логика	Динамическое обучение/дообучение ML-модели
Рабочий процесс	Выполнение команд, в соответствии с алгоритмом	Вынесение решений на основе функциональности ML-модели
Принцип взаимодействия	Графический/консольный интерфейс (UI)	Когнитивный интерфейс (Cognitive UI) с использованием многомодальных компонент (изображения, видео, звук, текст)
Основные проблемы безопасности	Некорректная валидация (improper validation) Проблемы контроля доступа (access control issues) Некорректные системные конфигурации	**Манипуляции** (manipulations), **Эксфильтрации** (exfiltrations), **Инъекции/отравления датасетов и/или ML-моделей** (Injection/Poison dataset & model)

3. Особенности процессов машинного обучения, влияющие на информационную безопасность

1) Процесс машинного обучения – это **процесс, основанный на данных**. Результат обучения (знания) сохраняется в виде параметров ML-модели

=> к **качеству датасетов** предъявляются высокие требования, включая требования к их **целостности и конфиденциальности**..

2) При взаимодействии с СИИ по каналам связи информация **передается** не только в традиционной форме – в виде данных и/или сигналов, но и **в виде ML-моделей** => Обеспечивать безопасность знаний сложнее, в силу

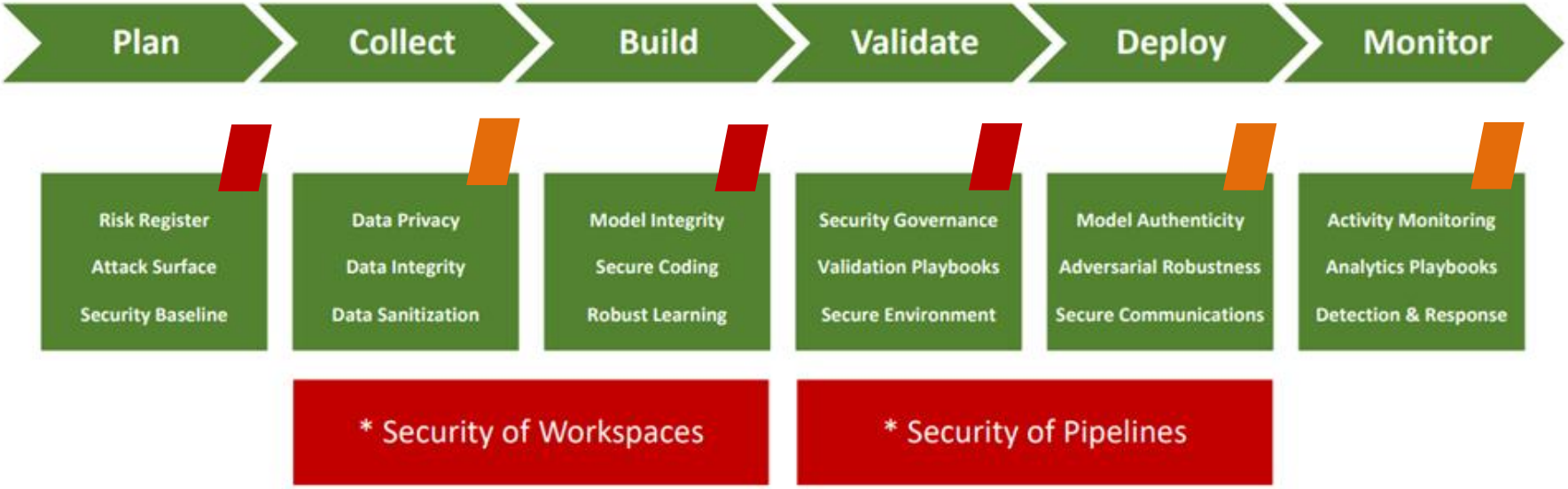
- необходимости перманентного обновления знаний
- требованию сохранения их возможной активации на пути миграции

.=> **механизмы защиты** ML-моделей должны быть **интегрированы в саму модель и/или ML-конвейер.**

3) Состояние Inference ML-model требуется **непрерывно контролировать** в силу неизбежной деградации ее производительности

- из-за изменения распределений исходных данных – **дрейфа данных,**
- из-за изменения зависимостей в реальном мире между входными данными и целевыми значениями – **дрейф концепции**)
- по причинам **злонамеренных атак** на интеллектуальные компоненты

4. ML-конвейер, удовлетворяющий техникам MLSecOps



- Регуляторные требования и технологические решения **MLSecOps находятся в стадии становления** как в Российской Федерации, так и зарубежом.
- **Криптографические алгоритмы** для ML-моделей **требуют усовершенствования**.

4. Результаты анализа стадий жизненного цикла создания безопасных приложений

№	Стадия	DevSecOps	MLSecOps
1	Определение требований безопасности (ТБ)	Выполняется на начальных этапах проектирования и планирования	Выполняется на начальных этапах проектирования и планирования **Учесть требования к дрифту данных и дрифту концепции**
2	Определение показателей (KPI) и отчетности о соответствии требованиям	KPI фиксируют минимально приемлемый уровень качества безопасности разрабатываемых компонент и системы в целом	KPI фиксируют минимально приемлемый уровень качества безопасности разрабатываемых компонент и системы в целом **Нет методик определения безопасности генеративных AI-компонент**
3	Разработка модели угроз безопасности информации	Моделирование угроз выполняется на уровне компонентов, приложения или системы	Моделирование угроз выполняется на уровне **ML-компонентов**, приложения или системы
4	Установка требований к проектированию механизмов безопасности	Прорабатываются требования к криптографическим примитивам и протоколам, способам аутентификации, логированию исключений и событий безопасности	Прорабатываются требования к криптографическим примитивам и протоколам, способам аутентификации, логированию исключений и событий безопасности. **Требуются НОВЫЕ криптографические протоколы и примитивы**

4. Результаты анализа стадий жизненного цикла создания безопасных приложений

№	Стадия	DevSecOps	MLSecOps
5	Определение и использование стандартов криптографии в соответствии с требованиями регуляторов	Стандарты введены в действие	**Стандарты прорабатываются регуляторами** (представлены в предварительных национальных стандартах)
6	Управление риском безопасности, связанным с использованием сторонних компонентов	Верификация сторонних компонентов, включая open source исходный код	Верификация сторонних компонентов, включая open source исходный код, **датасеты и baseline модели** (в РФ стадии разработки)
7	Использование одобренных политикой безопасности инструментов проектирования и администрирования	Использование доверенных фреймворков разработки ПО	Использование **доверенных фреймворков машинного обучения** (в РФ стадии разработки)

4. Результаты анализа стадий жизненного цикла создания безопасных приложений

№	Стадия	DevSecOps	MLSecOps
8	Обеспечение надежности и прозрачности искусственного интеллекта	Не проводится	ML-системы должны быть **прозрачными, справедливыми и подотчетными** как внутренним заинтересованным сторонам, так и внешним пользователям
9	Состязательное машинное обучение	Не проводится	**Проводится периодически**
10	Выполнить тестирование безопасности исходного кода (статический – SAST и динамический анализ - DAST	Проводится перед вводом продукта в эксплуатацию	**Методики тестирования автоматически сгенерированного исходного кода не определены**
11	Оценка уязвимости цепочки поставок компонентов ПО	Используются сканеры уязвимостей (базы данных CVE имеются)	Оценка уязвимости цепочки поставок ПО и ML-компонентов требует **специализированных сканеров уязвимотей**

4. Результаты анализа стадий жизненного цикла создания безопасных приложений

№	Стадия	DevSecOps	MLSecOps
12	Оценка безопасности создания и эволюции ML-моделей на протяжении всего их жизненного цикла	Не проводится	**Должно проводится непрерывно, методики прорабатываются**
13	Провести тестирование на проникновение (Pen Testing)	Используются команды Red Team с компетенциями DevSecOps	Используются команды **Red Team** с компетенциями **MLSecOps** (их очень мало!)
14	Реализовать процесс реагирования на инциденты и их разбор	Используются SIEM, UEBA, NAT, TE, SOAR	Используются SIEM, UEBA, NAT, TE, SOAR **с механизмами интеллектуального анализа** (В РФ находятся в стадии становления
15	Повысить уровень ИБ-зрелости	CP/CI/CD/CM имеются решения бесшовной интеграции и автоматизации	CP/CI/CD/CM решения бесшовной интеграции и автоматизации (**в стадии становления в РФ и зарубежном)**

6. Выводы

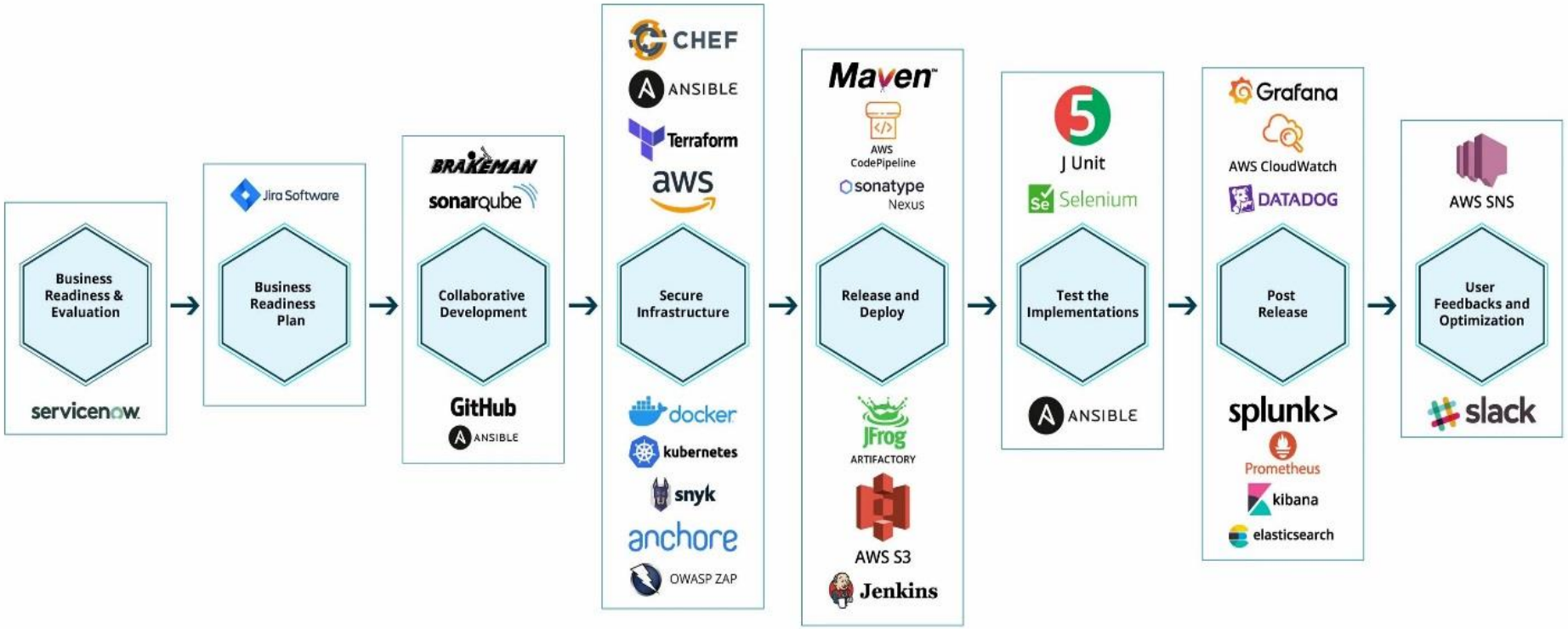
1. Практически невозможно изначально создать ML-конвейер без механизмов защиты, ввести модель в эксплуатацию, а затем добиться ее полноценной защиты.
2. ML-конвейеры имеют принципиальные отличия от иных конвейеров ПО.
3. Должна быть обеспечена не только безопасность ML-конвейеров (Secure of pipelines), но и безопасность ИИ-инфраструктуры (Secure of Workspace), где накапливаются датасеты, разрабатывается и обучается ML-модель
4. Методология разработки защищенных ML-конвейеров находится в стадии становления
5. Механизмы защиты должны быть сертифицированы ДО ИХ применения, но нормативно-регуляторная база для обеспечения безопасности СИИ находится в стадии становления
6. Генеративный AI способен самостоятельно создавать ML-компоненты и ML-конвейеры, которые НЕ КОНТРОЛИРУЮТСЯ на текущий момент человеков!

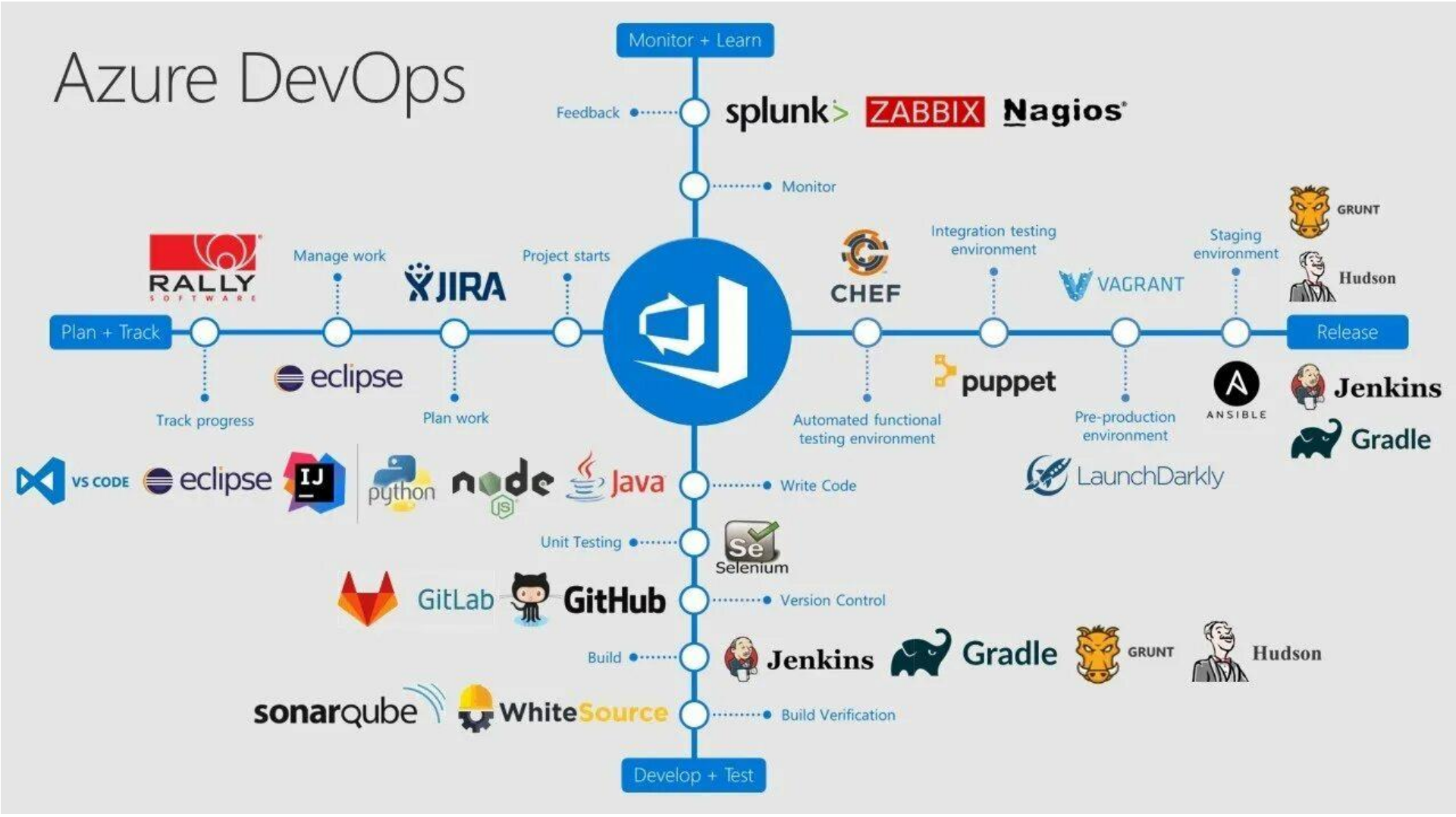
Автор - С.Г. Фомичева, к.т.н., профессор

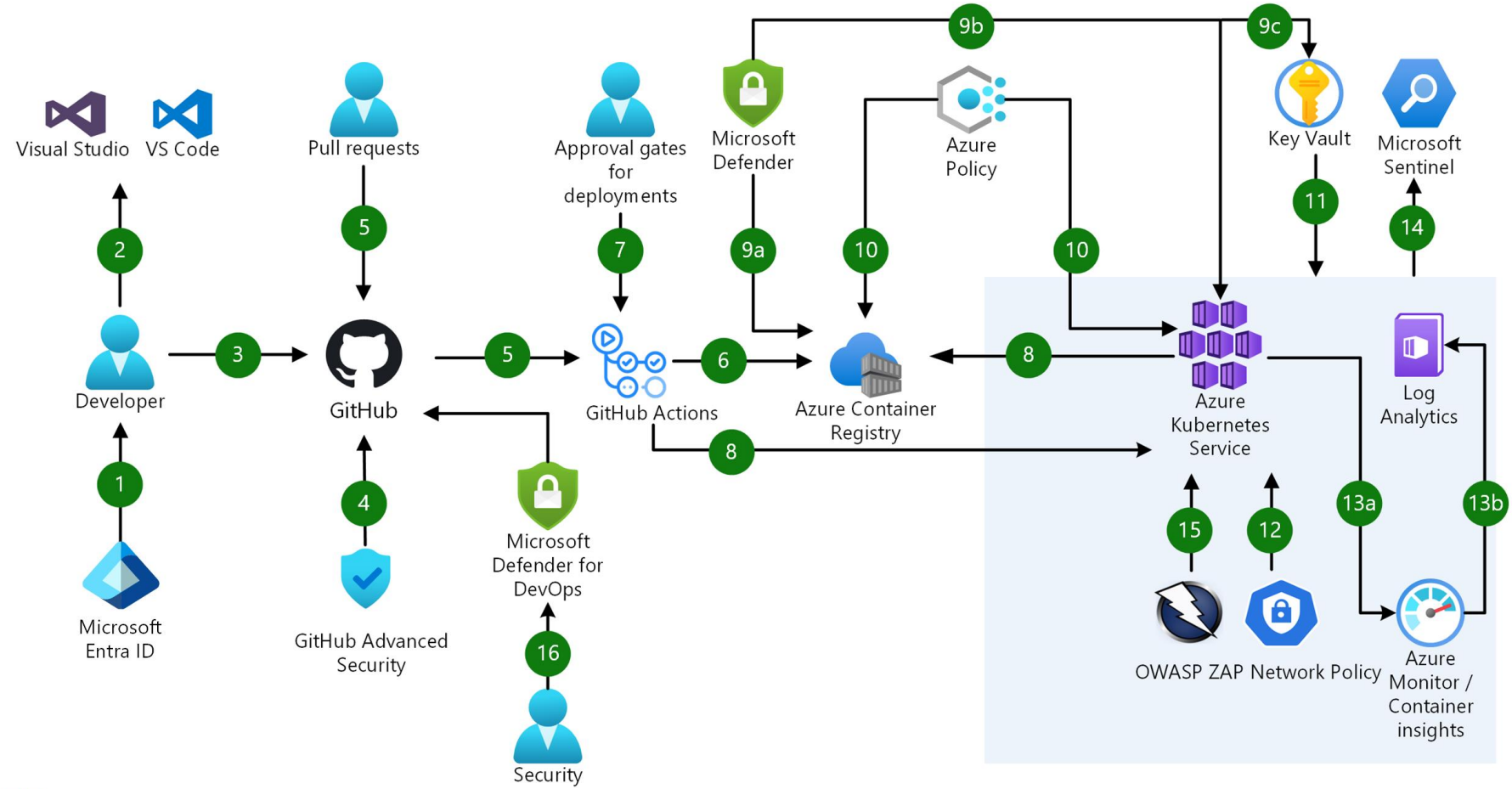
Организация - Санкт-Петербургский университет аэрокосмического приборостроения , кафедра 33 «Информационной безопасности»

Спасибо за внимание

Санкт-Петербург
2025


Business Readiness & Evaluation
servicenow
Jira Software
Business Readiness Plan
BRAKEMAN
sonarqube
Collaborative Development
GitHub
ANSIBLE
CHEF
ANSIBLE
Terraform
aws
Secure Infrastructure
docker
kubernetes
snyk
anchore
OWASP ZAP
Maven
AWS CodePipeline
sonatype Nexus
Release and Deploy
JFrog ARTIFACTORY
AWS S3
Jenkins
J Unit
Selenium
Test the Implementations
ANSIBLE
Grafana
AWS CloudWatch
DATADOG
Post Release
splunk>
Prometheus
kibana
elasticsearch
AWS SNS
User Feedbacks and Optimization
slack


Azure DevOps
Monitor + Learn
Feedback
splunk>
ZABBIX
Nagios
Monitor
GRUNT
Hudson
RALLY SOFTWARE
Manage work
JIRA
Project starts
CHEF
Integration testing environment
VAGRANT
Staging environment
Plan + Track
Release
eclipse
puppet
Jenkins
ANSIBLE
Track progress
Plan work
Automated functional testing environment
Pre-production environment
Gradle
VS CODE
eclipse
IJ
python
node
Java
LaunchDarkly
Write Code
Unit Testing
Selenium
GitLab
GitHub
Version Control
Build
Jenkins
Gradle
GRUNT
Hudson
sonarqube
WhiteSource
Build Verification
Develop + Test



Microsoft Azure

Особенности цифрового управления преобразователем постоянного напряжения

Завалишинские чтения

Храмов А.Е.
Чугров А.А.
Петухов Н.М.
ФГБОУ ВО НГТУ им. Р.Е. Алексеева

- Для аналого-цифрового преобразования (АЦП) в *STM32F429ZIT6* используется 12-битный АЦП (диапазон 0…4095) при входном напряжении 0…3,3 В. Чтобы получить относительные единицы (0…1), оцифрованное значение делится на 4095. Если датчик (напр., LEM) имеет смещение нуля (напр., 2,5 В → *ADCdata* = 3102), то относительные единицы вычисляются так:

$$\text{Отн. значение} = \frac{ADCdata - 3102}{993}$$

- Работа ПИ-регулятора происходит следующим образом (рис.1):

$$Result = E \cdot K_{\text{п}} + (I_{last} + E \cdot K_{\text{и}}),$$

где $K_{\text{п}}$, $K_{\text{и}}$ - коэффициенты регулятора;
I_{last} - последнее значение интегральной ошибки;
$E = S_{\text{з}} - S_{\text{ос}}$ - рассогласование сигнала задания с сигналом обратной связи.

- Синхронизация измерений и управления обеспечивается за счет запуска АЦП по прерыванию таймера (рис. 3). Практическая реализация работы системы управления подтверждается осциллограммами на рис. 4 и 5.
- На основании процедуры синтеза системы управления понижающим ШИП можно выделить следующие основные рекомендации:

- необходима синхронизация работы АЦП и регулятора с импульсами управления транзистором;
- запуск АЦП должен происходить дважды за период пилообразного сигнала;
- для точности измерений необходимо использовать медианный фильтр.

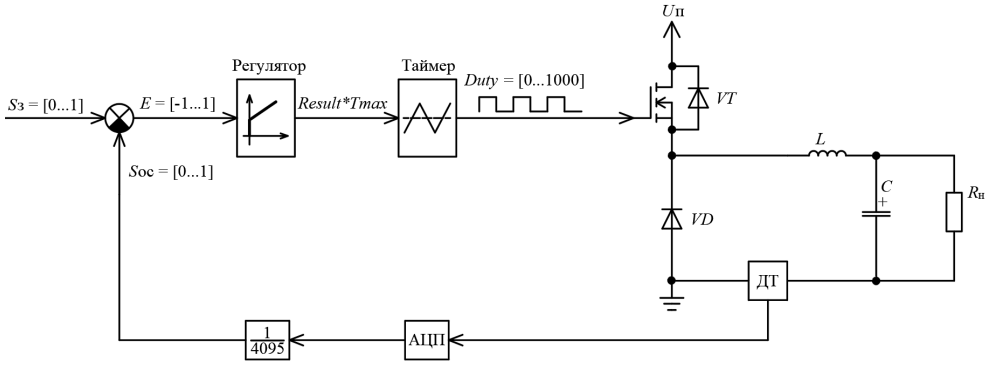


Рис. 1. Цифровой контур управления транзистором понижающего ШИП

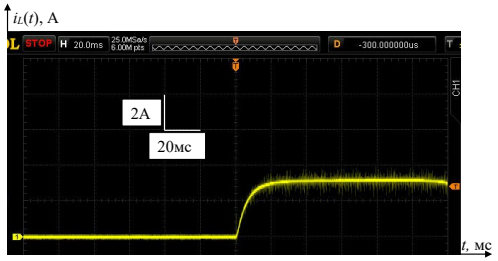


Рис. 3. Осциллограмма переходного процесса тока дросселя

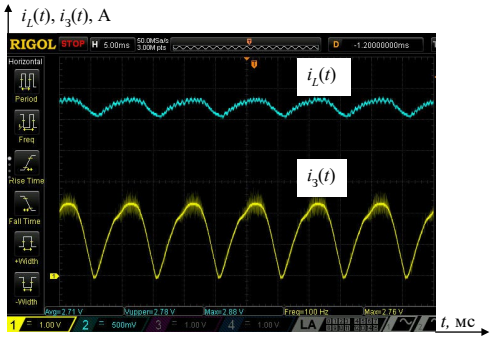


Рис. 4. Осциллограмма тока дросселя при абсолютном синусоидальном задании

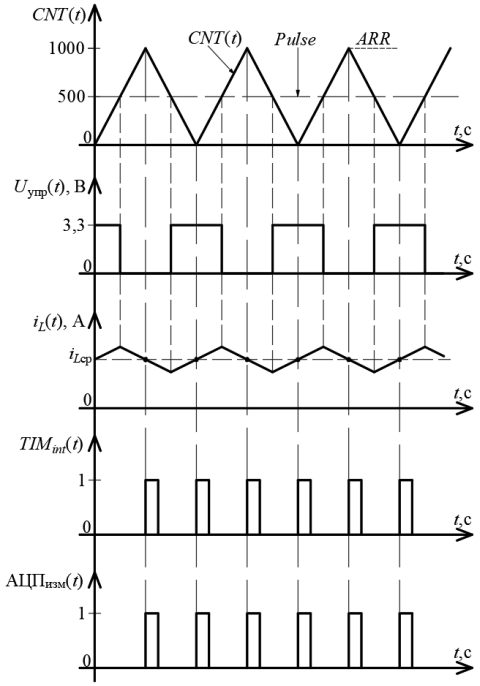


Рис. 2. Согласование работы АЦП с генерацией широтно-импульсного сигнала

Институт электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук

Завалишинские чтения

Импульсные преобразователи напряжения для электротранспорта

Е.А. Шершунова, к.т.н., зав. лаб. Мощной импульсной техники
С. И. Мошкунов, д.т.н., член-корр. РАН

План доклада

Завалишинские чтения

1. Современная повестка. Тенденции развития электротранспорта. Электрификация ЛА, архитектура ЛА.
2. Требования к преобразователям напряжения на борту ЛА.
3. Потери мощности в импульсных преобразователях напряжения.
4. Управление импульсным преобразователем напряжения.
5. Разработки ИЭЭ РАН.

Современный электротранспорт

Завалишинские чтения

- **Двухколесный электротранспорт**: электроскутеры и электромотоциклы, электровелосипеды, электросамокаты
- **Электромобили** - легковые автомобили на электрической тяге массой 1-2 тонны
- **Грузовой электротранспорт**: электрогрузовики, электробусы
- Железнодорожный электротранспорт: трамваи, электропоезда
- Водный электротранспорт: электрокатера, паромы, речные электротрамваи
- Спецтехника: электропогрузчики и т.д.
- **Электролёты:** летательные аппараты (ЛА) на электротяге, как самолетного типа, так и с вертикальным взлетом и посадкой (малая дальность полета)

Перспективы развития электротранспорта

Завалишинские чтения

тяга	ДВС	ЭМ
выбросы CO2	высокие	отсутствуют
уровень шума	высокий	низкий
кпд	40 %	90 %

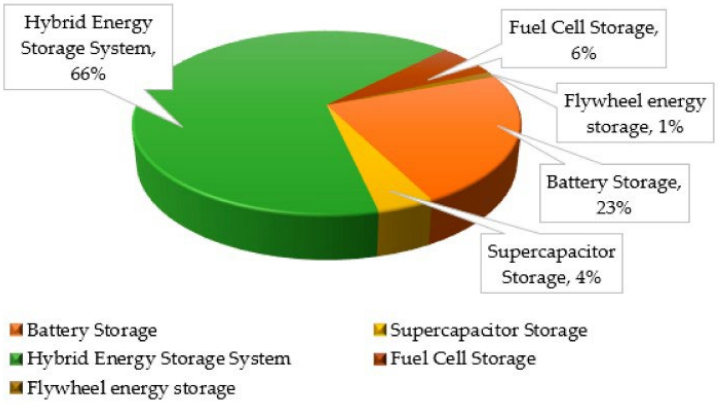


Рис. 1. Процентное соотношение источников энергии на борту электромобиля

[Hossain Lipu M. S. et al. Power electronics converter technology integrated energy storage management in electric vehicles: emerging trends, analytical assessment and future research opportunities //Electronics. – 2022. – Т. 11. – №. 4. – С. 562.]

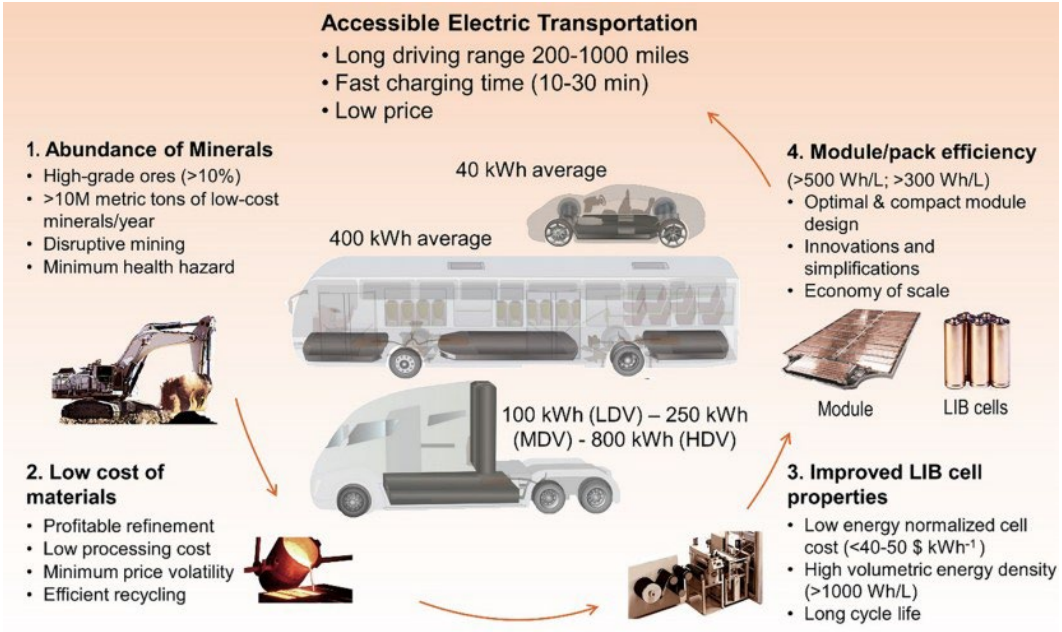
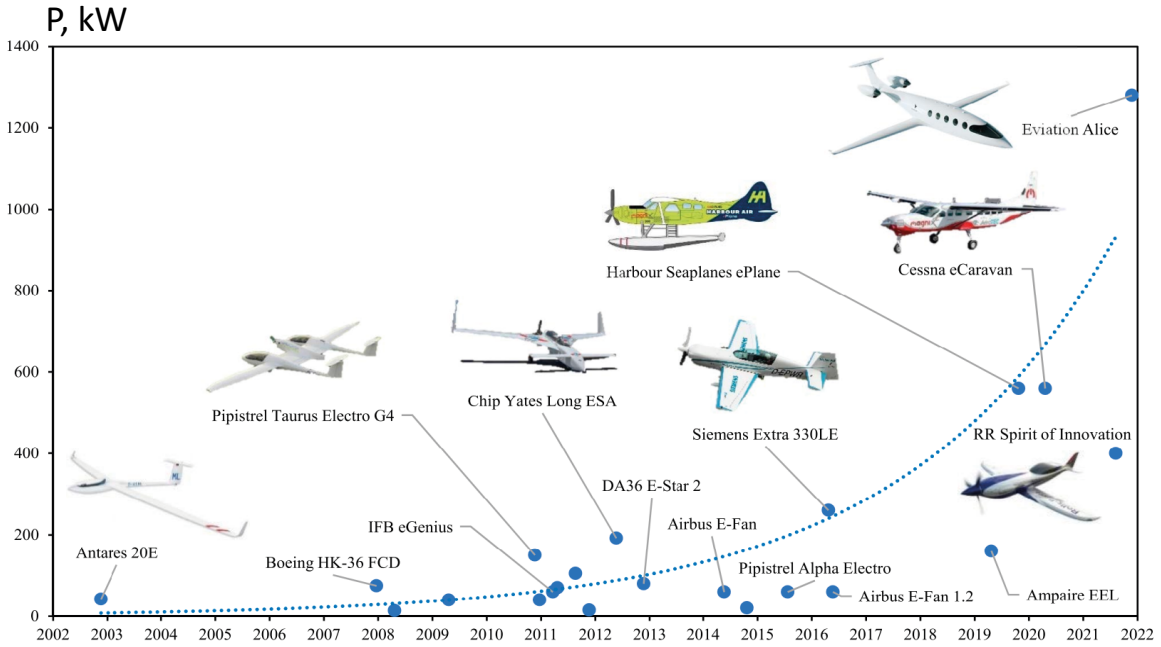


Рис. 2. Основные проблемы развития электротранспорта

[Turcheniuk K. et al. Battery materials for low-cost electric transportation //Materials Today. – 2021. – Т. 42. – С. 57-72.]

Электрификация ЛА

Завалишинские чтения



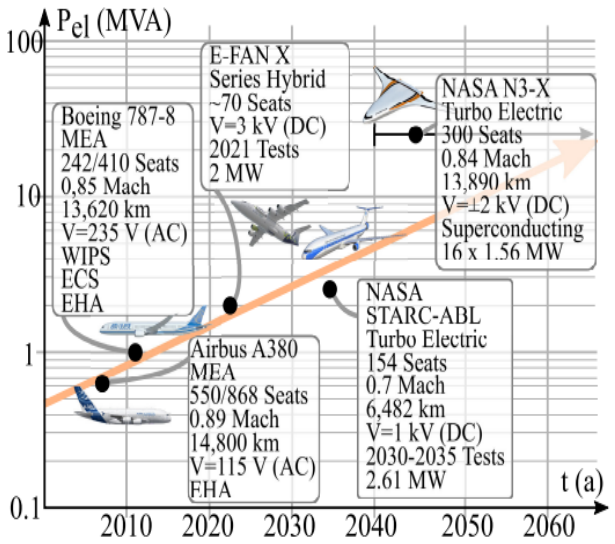
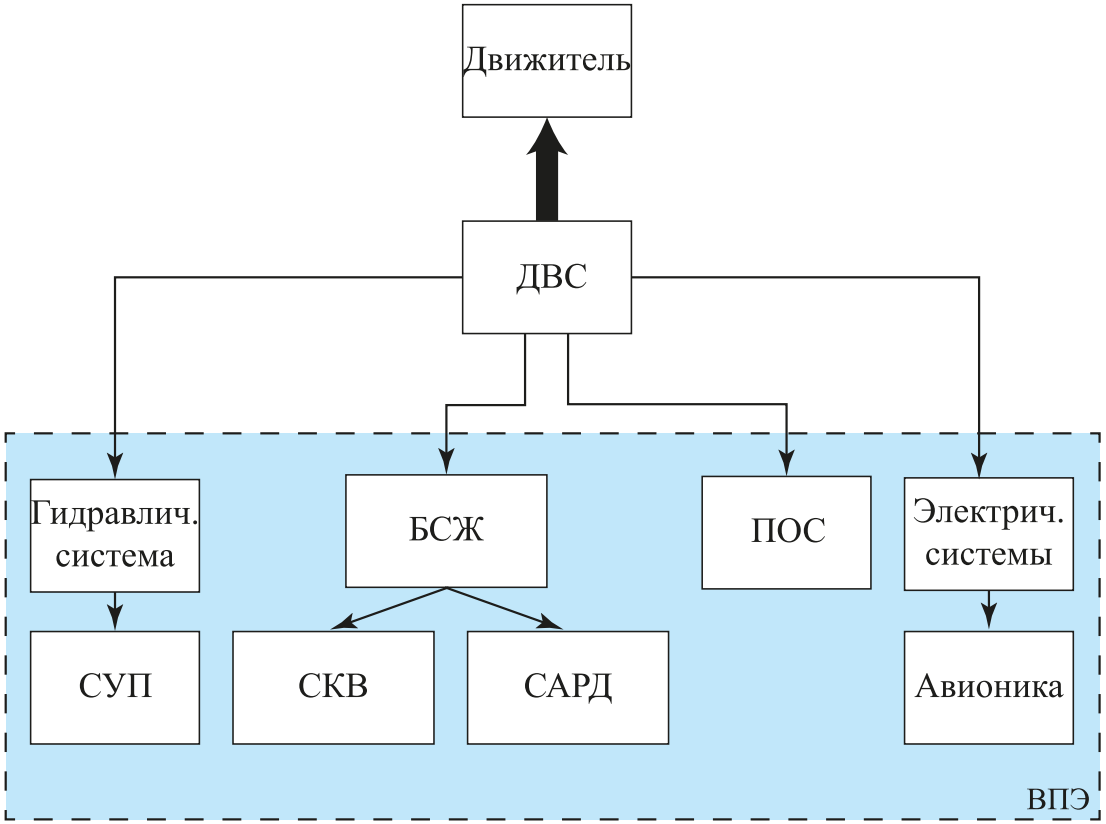


Рис. 3.- Развитие электрифицированных ЛА, полностью электрических легких и гибридных ЛА с годами

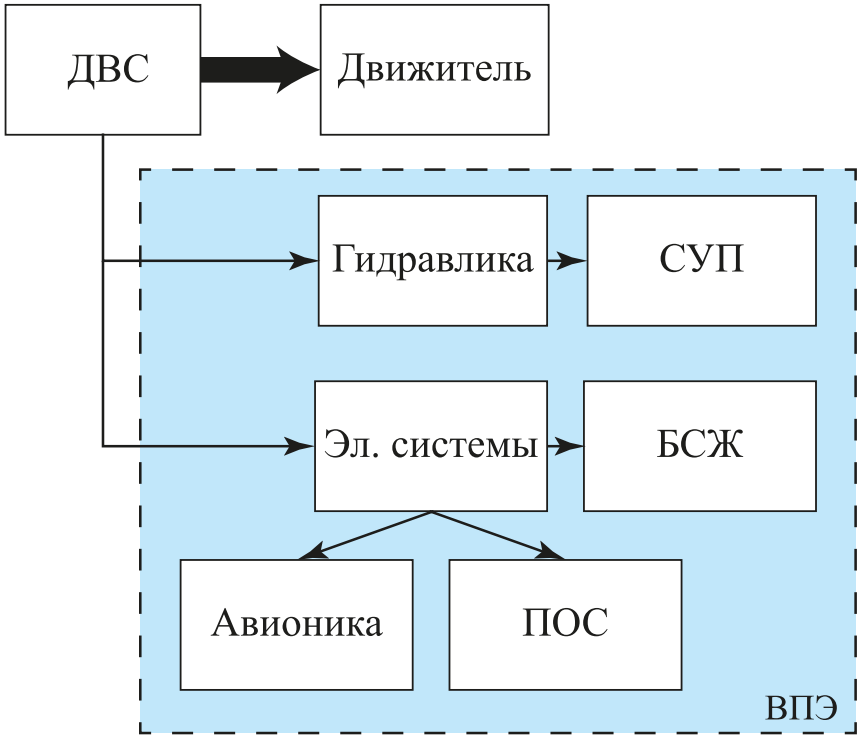
[Alvarez P. и др. Review of High Power and High Voltage Electric Motors for Single-Aisle Regional Aircraft // IEEE Access. 2022. Т. 10. № November. С. 112989–113004], [Jiang J. et al. A review on insulation challenges towards electrification of aircraft //High Voltage. – 2023. – Т. 8. – №. 2. – P. 209-230].

Традиционная архитектура летательного аппарата



ДВС – двигатель внутреннего сгорания, СУП – система управления полетом, БСЖ –бортовая система жизнеобеспечения, СКВ – система кондиционирования воздуха, САРД- система автоматического распределения давления, ПОС-противообледенительная система

Архитектура «более электрического» летательного аппарата

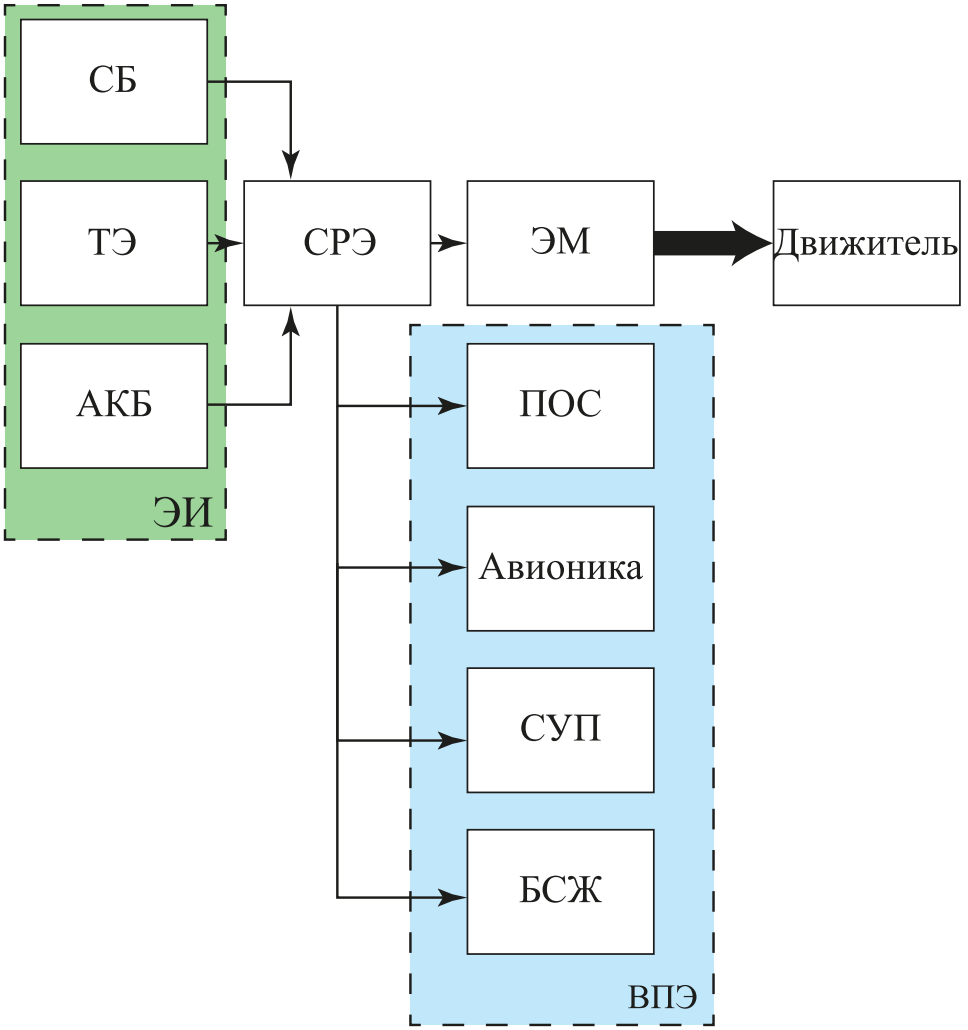


ДВС – двигатель внутреннего сгорания, СУП – система управления полетом, БСЖ –бортовая система жизнеобеспечения, ПОС-противообледенительная система

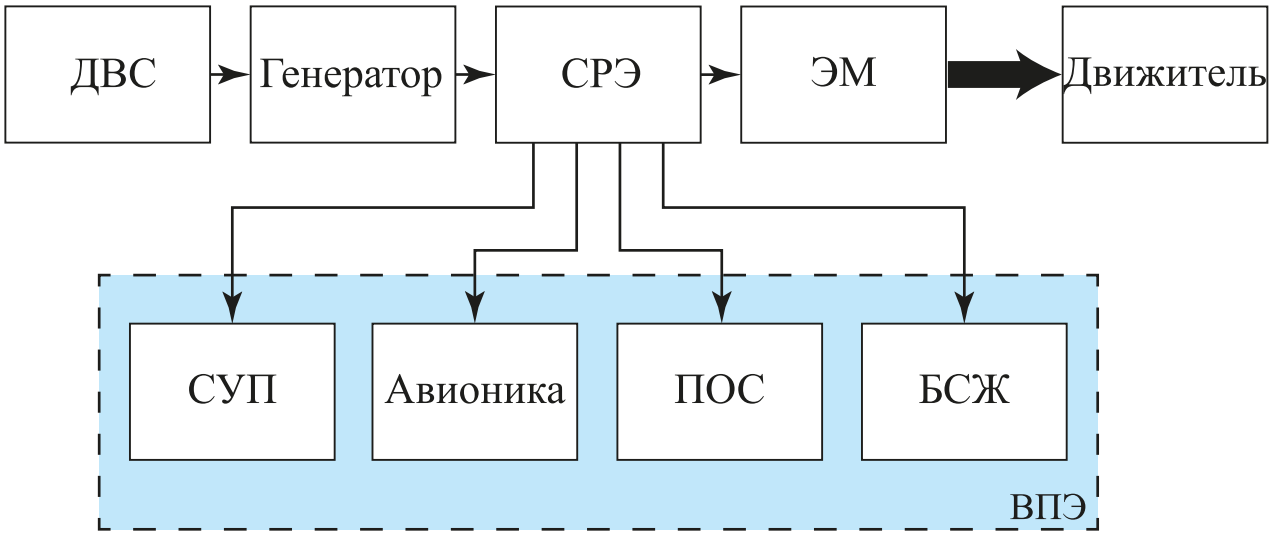
Архитектура полностью электрического летательного аппарата

Завалишинские чтения

ЭИ-источники электроэнергии:
СБ-солнечные батареи, ТЭ-топливные элементы, АКБ-аккумуляторные батареи, СРЭ-система распределения энергии, ЭМ-электромотор, СУП – система управления полетом,
БСЖ –бортовая система жизнеобеспечения,
ПОС-противообледенительная система

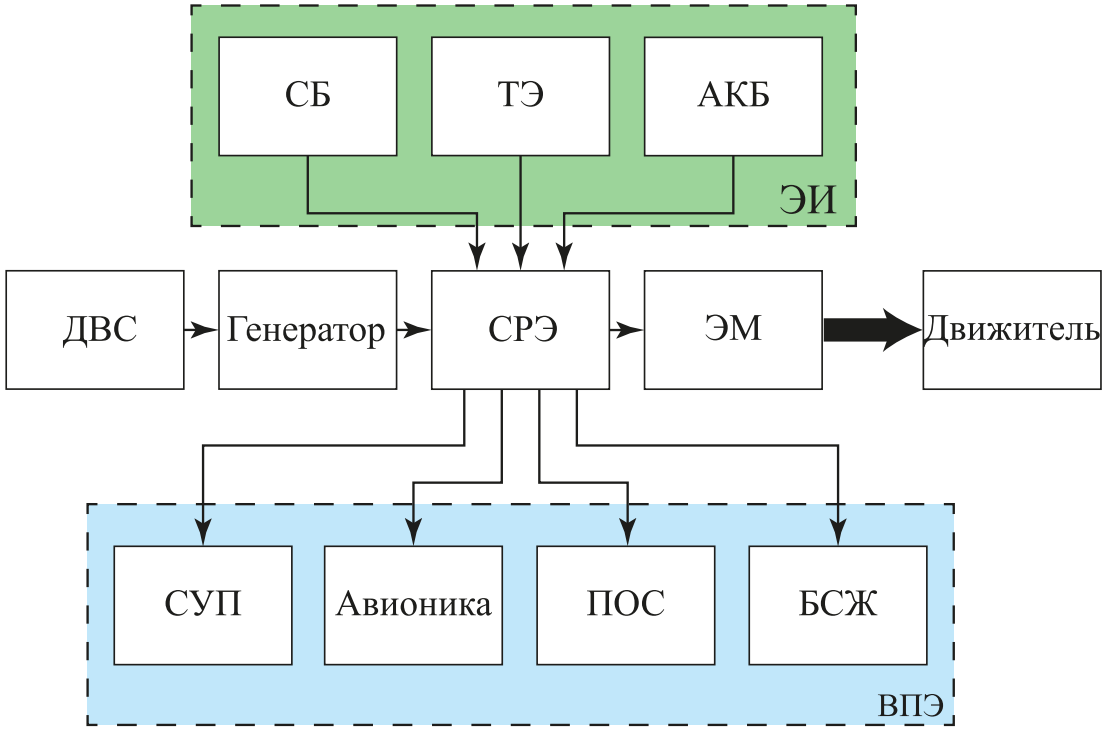


Турбоэлектрическая архитектура летательного аппарата



ДВС – двигатель внутреннего сгорания, СУП – система управления полетом, БСЖ –бортовая система жизнеобеспечения, ПОС-противооблединительная система, СРЭ-система распределения энергии, ЭМ-электромотор

Гибридная архитектура летательного аппарата



ДВС – двигатель внутреннего сгорания, СУП – система управления полетом, БСЖ –бортовая система жизнеобеспечения, ПОС-противообледенительная система, СРЭ-система распределения энергии, ЭМ-электромотор, СБ-солнечные батареи, ТЭ-топливные элементы, АКБ-аккумуляторные батареи

Сравнение архитектур ЛА по степени гибридизации

Завалишинские чтения

$$H_P = \frac{P_{эм}}{P}, H_E = \frac{E_{иэ}}{E},$$

$P_{эм}$ – мощность электромотора, $E_{иэ}$ – энергия, запасаемая источником электроэнергии

Архитектура СУ ЛА	H_P	H_E
Традиционная	0	0
Электрическая	1	1
Турбоэлектрическая	>0	0
Гибридная последовательная	1	<1
Гибридная параллельная	<1	<1

[Isikveren A. T. et al. Pre-design strategies and sizing techniques for dual-energy aircraft //Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal. – 2014. – Т. 86. – №. 6. – С. 525-542]

Основные технологические параметры силовой установки ЛА

Завалишинские чтения

$$R = \frac{L}{D}\eta_{дв}\eta_{и}\eta_{т}\frac{w_{т}}{g}ln\left(\frac{1}{1-\frac{m_{т}}{m_{взл}}}\right)$$ - классическая формула Бреге для жидкого топлива

$$R = \frac{L}{D}\eta_{дв}\eta_{и}\eta_{э}\frac{w_{акб}}{g}\frac{m_{акб}}{m_{взл}}$$ - адаптированная формула Бреге для АКБ

R – дальность полета, L/D — отношение подъемной силы к лобовому сопротивлению, аэродинамическое качество, $\eta_{дв}$ — эффективность тяги, $\eta_{и}$ — эффективность, обусловленная потерями на интеграцию тяги, η_{T} — тепловой КПД двигателя, w_{m} **— удельная энергия топлива**, а $m_{m}/m_{взл}$ — отношение массы топлива к взлетной массе ЛА, $\eta_{э}$ — КПД электрической системы, $w_{акб}$ **—удельная энергия батареи**, $m_{акб}$ – масса батареи

1.Удельная мощность силовой установки (кВт/кг) ⟶ 10-20 кВт/кг

2.Удельная энергия топлива (Вт·ч/кг):

Теплотворность углеводородного топлива Jet-A равна11,9 кВт·ч/кг

Удельная энергия литий-ионных батарей 200 Вт·ч/кг ⟶ 500 - 1000 Вт·ч/кг

3. Кпд силовой установки: $\eta_{э} = \eta_{эг}\eta_{в}\eta_{ш}\eta_{инв}\eta_{эм}$ ⟶ 90 %

*[Hepperle M. Electric flight-potential and limitations. – 2012].

Система распределения энергии на борту ЛА с электрической/гибридной СУ

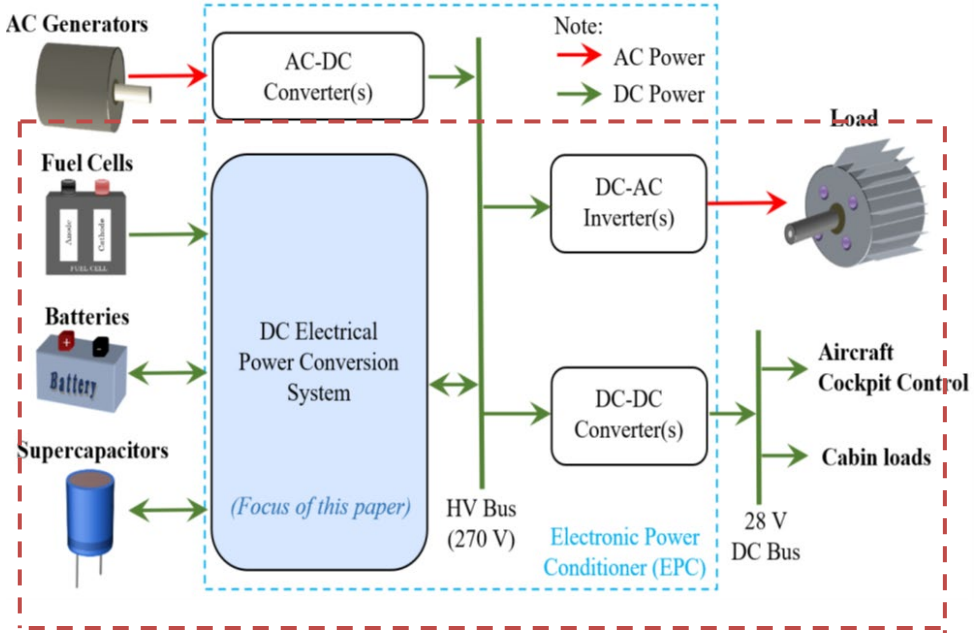


Рис.6. Типичное распределение энергии на борту ЛА с ГСУ (электрической СУ – красный пунктир)

[Swaminathan N., Cao Y. An Overview of High-Conversion High-Voltage DC-DC Converters for Electrified Aviation Power Distribution System //IEEE Transactions on Transportation Electrification. – 2020]

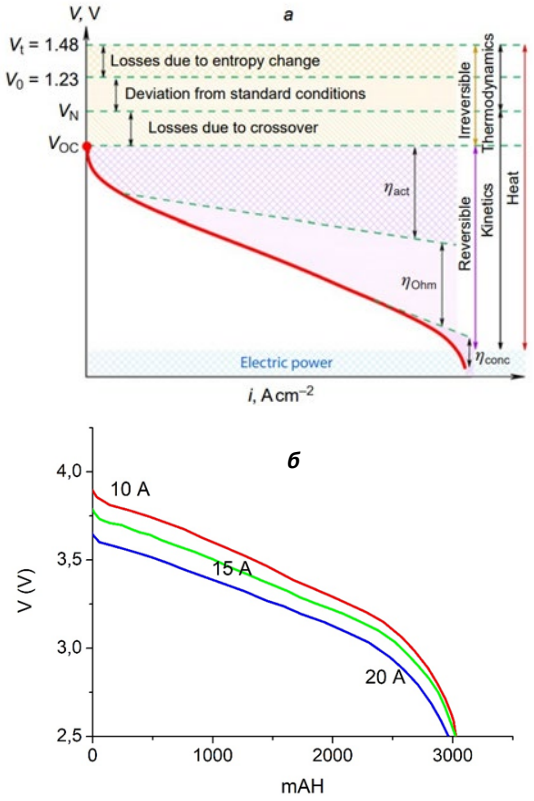


Рис.7. ВАХ: а)ТЭ, б) АКБ

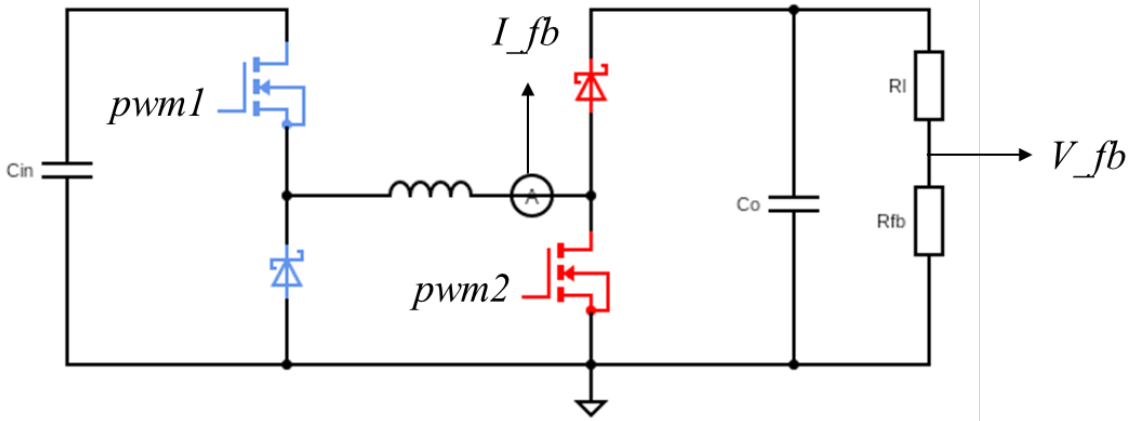
[Бельмесов А. А. и др. Твердополимерные топливные элементы: взаимосвязь" процессы–материалы–конструкционные решения" в современных тенденциях //Russian Chemical Reviews. – 2024. – Т. 93. – С. 6.], [https://18650pro.ru/18650/murata-vtc6-3000mah]

Понижающий-повышающий преобразователь напряжения постоянного тока (DC/DC converter)

Завалишинские чтения

Рис.8. Схема асинхронного импульсного понижающего-повышающего преобразователя напряжения с двойной петлей обратной связи по напряжению и по току.

(синим – цепь понижения, красным – повышения)



понижающий	повышающий
$D_{buck} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$	$D_{boost} = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$
$I_L = I_{out}$	$I_L = \frac{I_{out}}{1 - D_{boost}}$

Принцип управления понижающим-повышающим преобразователем напряжения постоянного тока

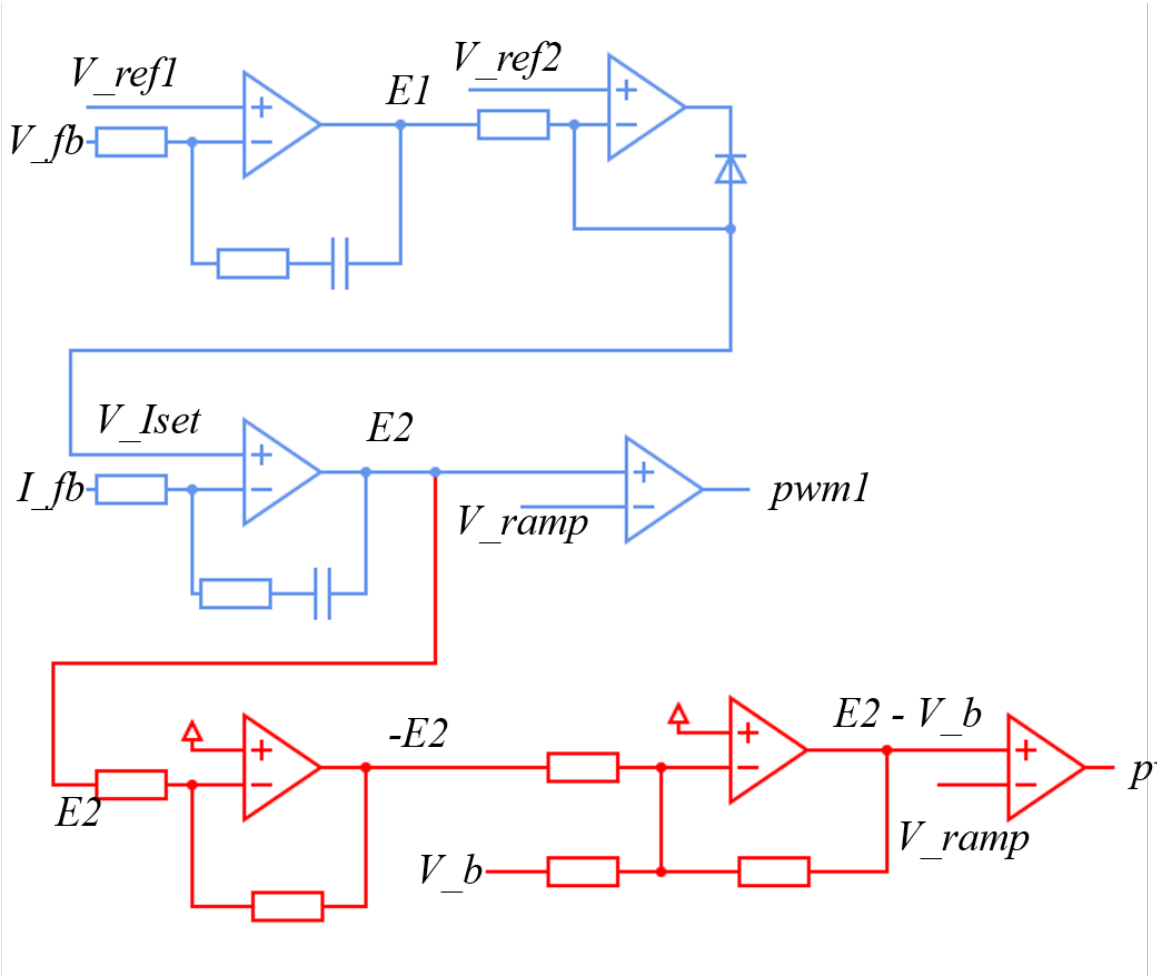


Рис. 9. Схема управления импульсным преобразователем напряжения (режим среднего тока)

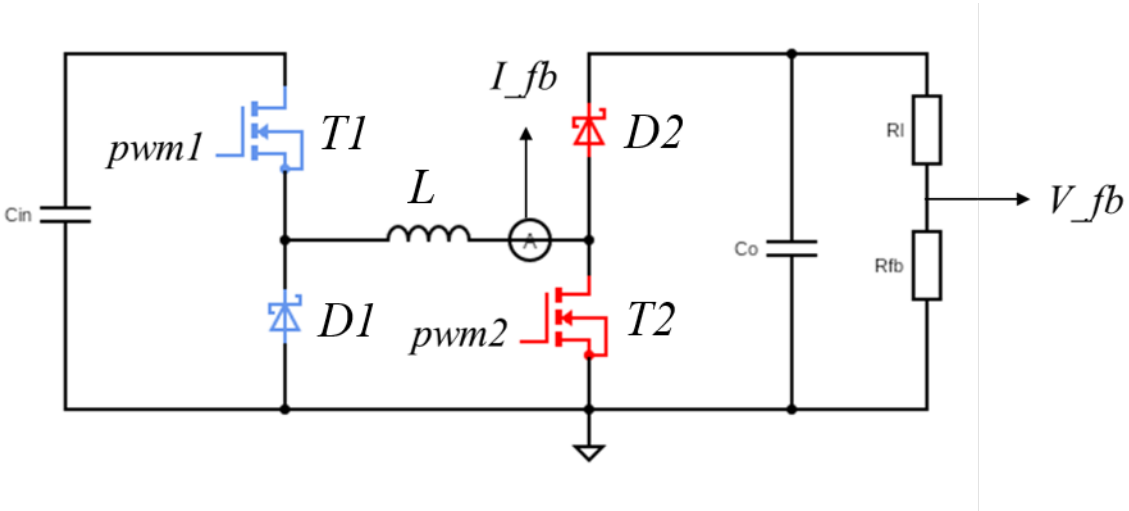
[*Мошкунов С.И.. Хомич В.Ю., Шершунова Е.А.* СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ СИЛОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В РЕЖИМЕ СРЕДНЕГО ТОКА. – 2022. Патент РФ RU 2791909 C1]

Расчет потерь в импульсном преобразователе напряжения

Завалишинские чтения

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_l}$$

$$P_l = P_{sw} + P_d + P_L + P_c$$



Потери мощности в полупроводниковых элементах в преобразователе (режим Buck)

Завалишинские чтения

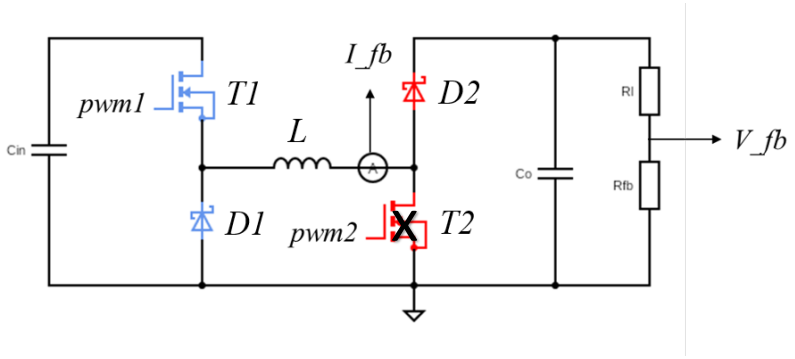
$$P_{sem} = (E_{cond_T1} + E_{cond_{D1}} + E_{cond_D2} + E_{sw_T1} + E_{g_Q1} + E_{oss_T1}) \cdot f$$

$$E_{cond_T1} = I_{out} \cdot V_{th} \cdot D_{buck}$$

$$E_{cond_{D1}} = \frac{I_{out} \cdot (1 - D_{buck}) \cdot V_f}{f}$$

$$E_{cond_D2} = \frac{I_{out} \cdot V_f}{f}.$$

Потери на проводимость



$$E_{sw_T1} = \int_0^{t_{on}} I_{ds}(t) \cdot V_{ds}(t)dt + \int_0^{t_{off}} I_{ds}(t) \cdot V_{ds}(t)dt.$$

$$E_{g_{T1}} = Q_g \cdot V_{gs}$$

$$E_{oss} = \frac{C_{oss} \cdot V_{in}^2}{2}$$

Переключательные потери

Потери мощности в полупроводниковых элементах в преобразователе (режим Boost)

Завалишинские чтения

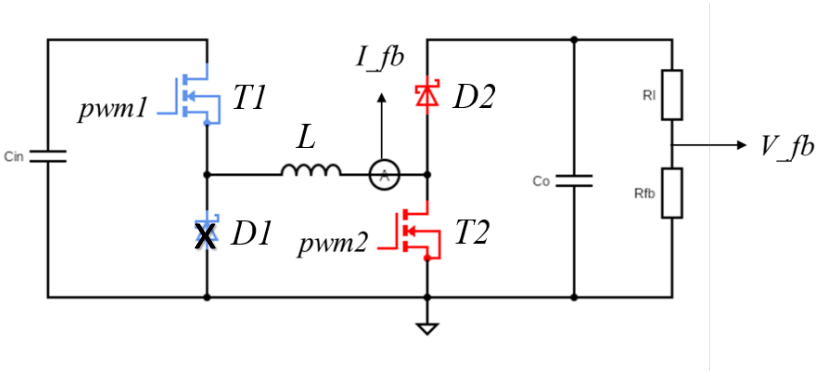
$$P_{sem} = (E_{cond_T1} + E_{con_T2} + E_{cond_D2} + E_{sw_T1} + 2E_{g_T1} + 2E_{oss_T1} + E_{sw_{T2}}) \cdot f$$

$$E_{cond_T1} = \frac{I_{out} \cdot V_{th}}{(1 - D_{boost}) \cdot f}$$

$$E_{cond_T2} = \frac{I_{out} \cdot V_{th}}{(1 - D_{boost}) \cdot f}$$

$$E_{cond_D2} = I_{out} \cdot V_f$$

Потери на проводимость



$$E_{sw_T1} = \int_0^{t_{on}} I_{ds}(t) \cdot V_{ds}(t)dt + \int_0^{t_{off}} I_{ds}(t) \cdot V_{ds}(t)dt$$

$$E_{sw_T2} = \int_0^{t_{on}} I_{ds}(t) \cdot V_{ds}(t)dt + \int_0^{t_{off}} I_{ds}(t) \cdot V_{ds}(t)dt$$

Переключательные потери

Потери мощности в пассивных элементах

Завалишинские чтения

$$P_{L_ac} = I_{rms}^2 \cdot R_{ac}$$

$P_L = P_{L_W} + P_{L_ac} + P_{L-core}$ Потери в дросселе

$P_{L_w} = I_L^2 \cdot R_L$ Потери в проводнике

$P_{L_ac} = I_{rms}^2 \cdot R_{ac}$ Потери в проводнике с учетом скин-эффекта

$P_{L_core} = a \cdot B_{pk}^b \cdot f^c \cdot l_e \cdot A_e$ Потери в сердечнике

Потери в дросселе

$P_c = DF \cdot \frac{I_c^2}{2\pi \cdot f \cdot \mathrm{C}}$. Потери в конденсаторе

Преобразователи напряжения, созданные в ИЭЭ РАН

Завалишинские чтения

тип преобразователя	входное напряж., В	выходное напряж., В	мощность, кВт	Кпд, %	удельная мощность, кВт/кг
Пониж. /повыш.	130-300	150	10	97,5	3,8
Пониж.	1000-1300	800	16	99	10
Пониж. /повыш.	800-1300	800-1000	20	98	10

Преобразователи напряжения, созданные в ИЭЭ РАН – ИПН10-150

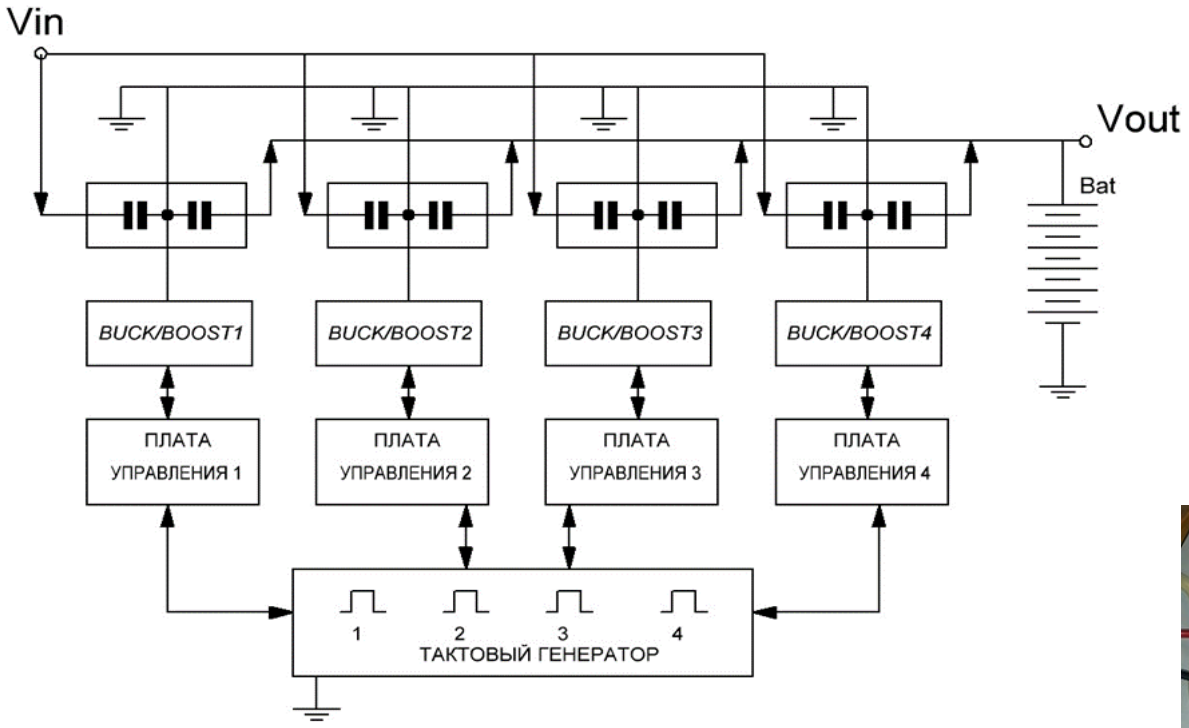


Рис. 10. Блок-схема и фотография 4-х фазного 10 кВт-преобразователя постоянного напряжения

[Варюхин, А. Н., Гордин, М. В., Захарченко, В. С., Маланичев, В. Е., Малашин, М. В., Мошкунов, С. И.,..& Шершунова, Е. А.. Силовой многофазный импульсный преобразователь для гибридных летательных аппаратов //Известия РАН. Энергетика. – 2019. – №. 6. – С. 121-129]

Параметры

P = 10 кВт
Vin = 130 – 300 В
Vout = 150 В; Iout = 70 А
f = 100 кГц
P/m = 4 кВт/кг
к.п.д. = 98 %
Размеры: 45x135x410 мм

DC-DC преобразователь для заряда АКБ ИПН10-150

Завалишинские чтения

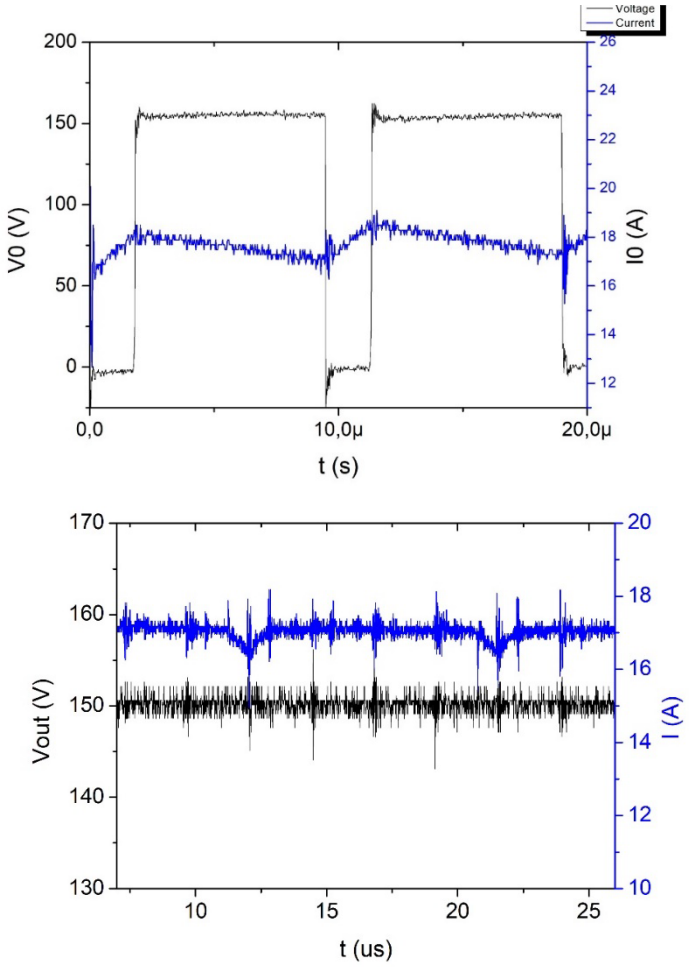


Рис. 11. Осциллограммы напряжения и тока в средней точке для **1 модуля** при входных параметрах *Vin* = 130 В, *Iin* = 20 А (вверху) и напряжения на выходе и тока через дроссель **1-го модуля** (внизу).

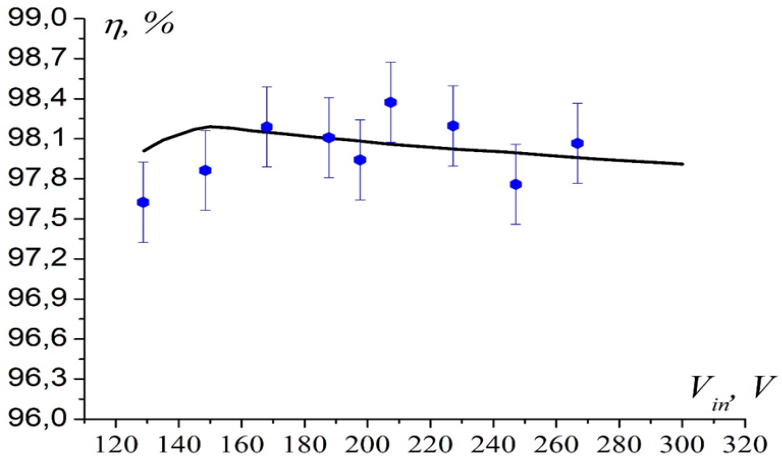


Рис. 12. Зависимость к.п.д. преобразователя от напряжения на входе (расчетная – линия и экспериментальная- точки) при V_{out} = 150 В

Преобразователи напряжения, созданные в ИЭЭ РАН – ИПН20-1000

Завалишинские чтения

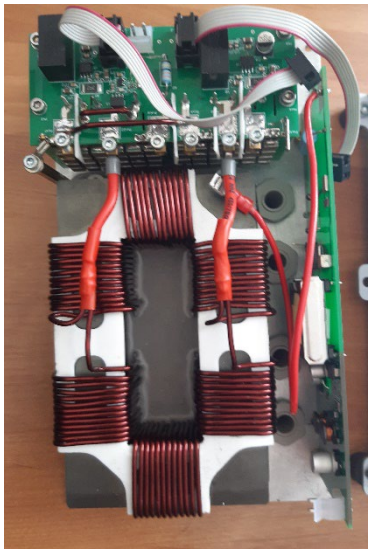


Рис. 13. Фотографии 20 кВт-преобразователя постоянного напряжения на SiC-транзисторах

[Варюхин А. Н., Гордин М. В., Дутов А. В., Мошкунов С. И., Хомич В. Ю., Шершунова Е. А. Мощный импульсный преобразователь постоянного тока на карбид-кремниевых транзисторах // Прикладная физика. 2021. № 1. С. 75-81].

Параметры

P = 20 кВт

Vin = 800 – 1300 В

Vout = 1000 В; f = 100 кГц

P/m = 10 кВт/кг

к.п.д. = 98 %

Размеры: 131 × 224 × 85 мм

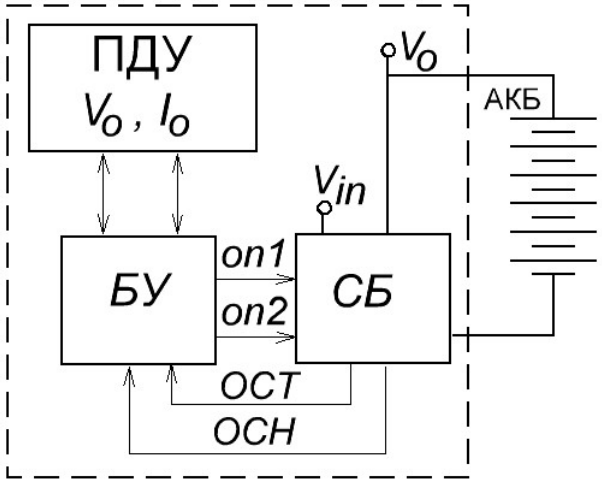


Рис. 14. Блок-схема 20 кВт-преобразователя постоянного напряжения: ПДУ-пульт дист. управления, БУ-блок управления, СБ-силовой блок

DC-DC преобразователь для заряда АКБ ИПН20-1000

Завалишинские чтения

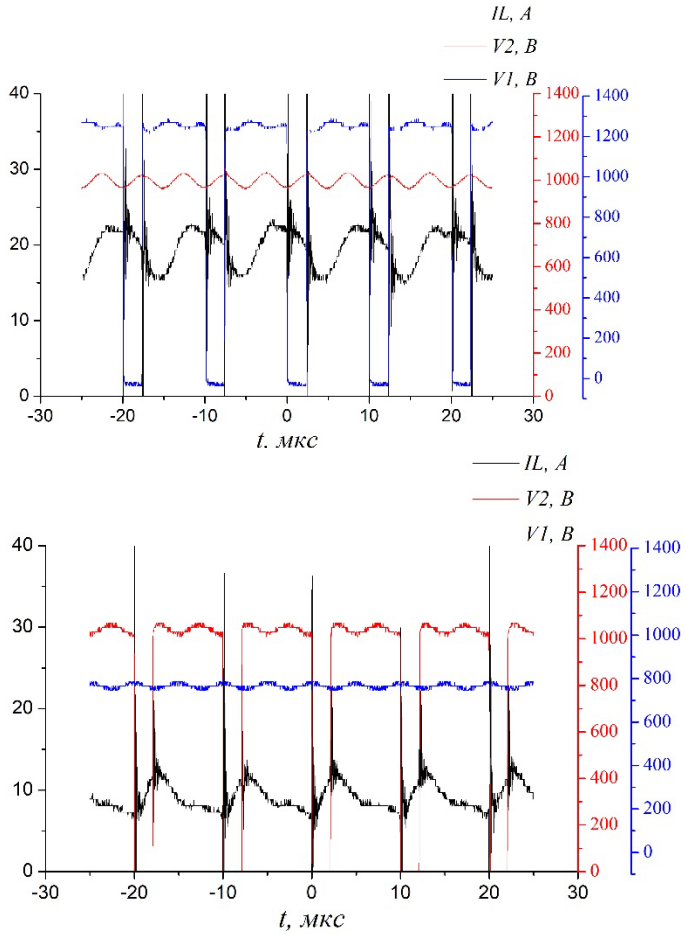


Рис. 15. Осциллограммы напряжений и тока через индуктор в режиме понижения(сверху, 1300В – 1000 В) и в режиме повышения (снизу, 800 – 1000 В) напряжения.

[Варюхин А. Н., Гордин М. В., Дутов А. В., Мошкунов С. И., Небогаткин С. В., Хомич В. Ю., Шершунова Е. А. Мощный преобразователь напряжения для заряда АКБ на борту летательного аппарата с гибридной силовой установкой // Доклады РАН. Физика, технические науки. 2022. № 1. С. 63-68.]

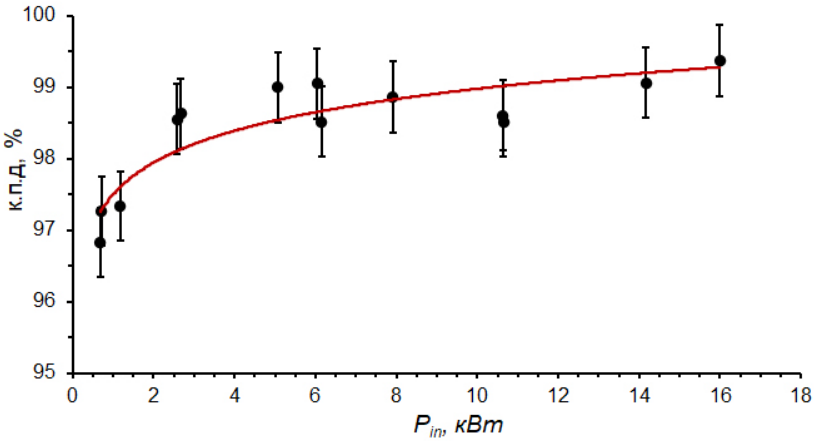


Рис. 16. Зависимость к.п.д. преобразователя от напряжения на входе (расчетная - линия, экспериментальная - точки)

Заключение

Завалишинские чтения

- На примере летательных аппаратов показана необходимость разработки высокоэффективных, легких преобразователей напряжения в составе силовых установок для электротранспорта.
- Предложен подход к построению силовых преобразователей постоянного напряжения для стабилизации напряжения на шине силовых электрических и гибридных установок.
- Предложена схема управления силовыми преобразователями напряжения для заряда АКБ на борту ЛА, позволяющая стабилизировать как напряжение, так и ток, что особенно важно при заряде батарей.
- Собранные в ИЭЭ РАН преобразователи напряжения имеют высокий кпд (98-99 %), высокую удельную мощность (до 10 кВт/кг) и могут быть использованы для стабилизации напряжения на шине постоянного напряжения после электрохимических источников напряжения в составе полностью электрических и гибридных силовых установок транспортных средств, включая летательные аппараты.
- Работы по разработке и созданию перспективных СУ ЛА ведутся ИЭЭ РАН в рамках сотрудничества с Центральным Институтом Авиационного Моторостроения им. П.И. Баранова и Самарским университетом им. Королева.

Заключение

Завалишинские чтения

Спасибо за внимание!

Методы обнаружения дефектов листового стекла

Завалишинские чтения

Авторы: магистранты В.А. Давыдов, В.Ю. Головин, кандидат технических наук, доцент В.В. Булатов

Организация: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Цель: определение наиболее оптимального метода детектирования дефектов листового стекла.

В данной статье произведен поиск методов обнаружения дефектов листового стекла, определены наиболее актуальные существующие решения. Выполнен анализ полученной информации по теме, результат сведен в сравнительную таблицу и определен наиболее оптимальный метод детектирования.

На данный момент основным способом производства листового стекла в России является «флоат-метод» (рис.1). Сущность данного метода заключается в наливе расплавленной стекломассы на слой расплавленного олова под действием сил поверхностного натяжения [1], что обеспечивает равномерную толщину и высокое качество поверхности изготавливаемого стекла

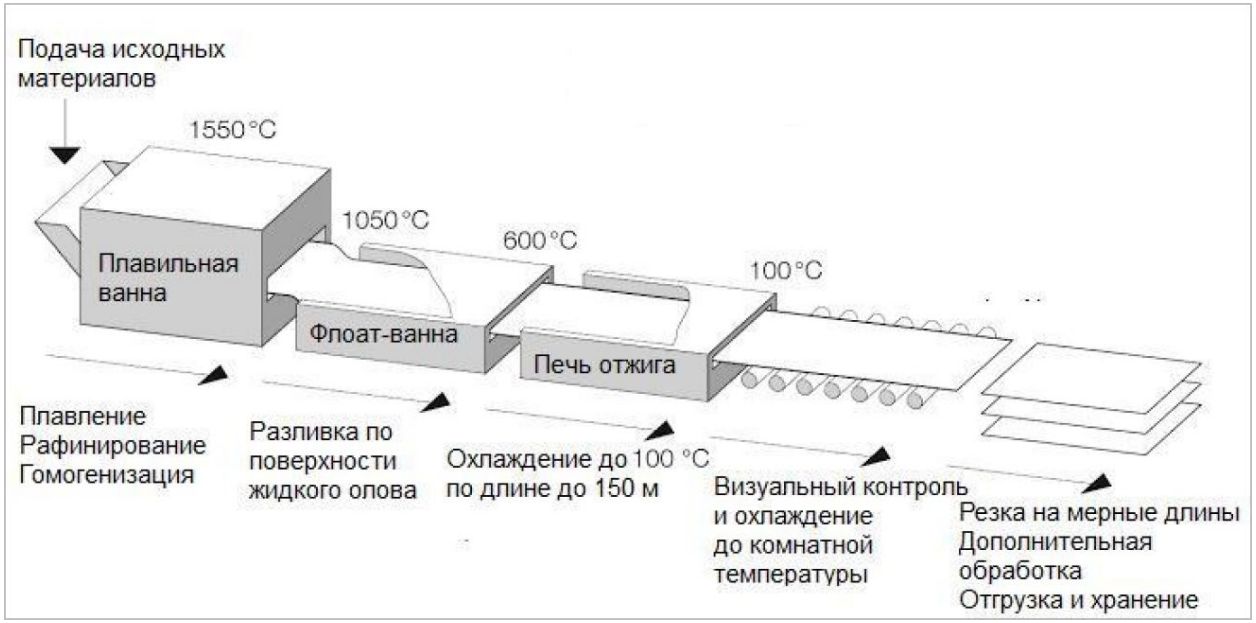


Рис. 1 - Технологический процесс «флоат-метода» изготовления стекла

Существующие методы детектирования:

1) Инфракрасная дефектоскопия

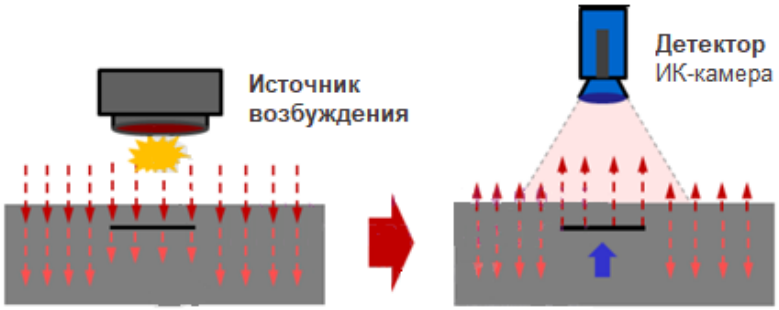


Рис. 2 – Принцип метода инфракрасной дефектоскопии

2) Ультразвуковая дефектоскопия

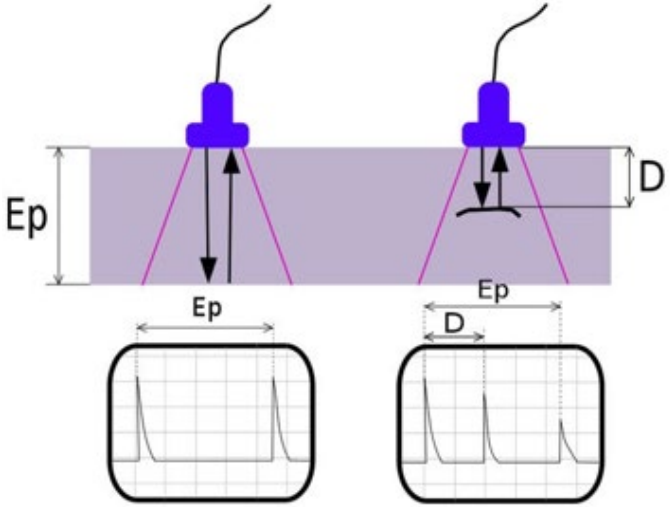


Рис. 3 – Принцип метода ультразвуковой дефектоскопии

Существующие методы детектирования:

3) Рентгенографическая дефектоскопия

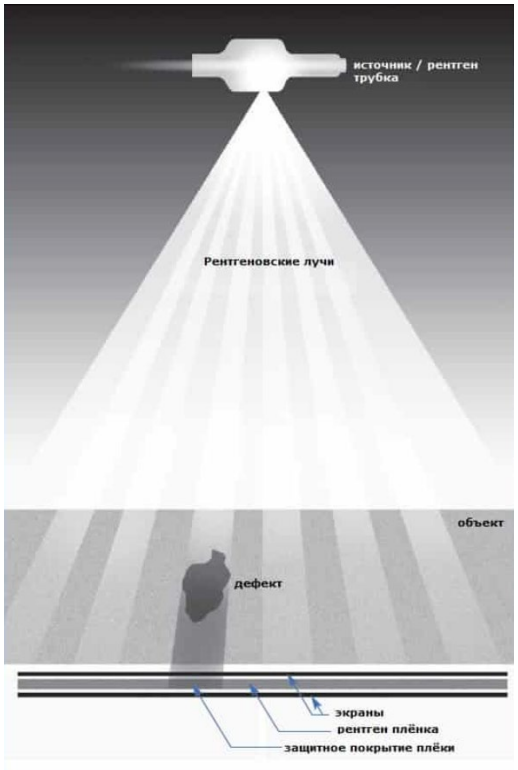


Рис. 4 – Принцип метода рентгенографическая дефектоскопии

4) Спектроскопия

Рис. 5 – Принцип метода спектоскопии

5) Метод на основе применения систем технического зрения

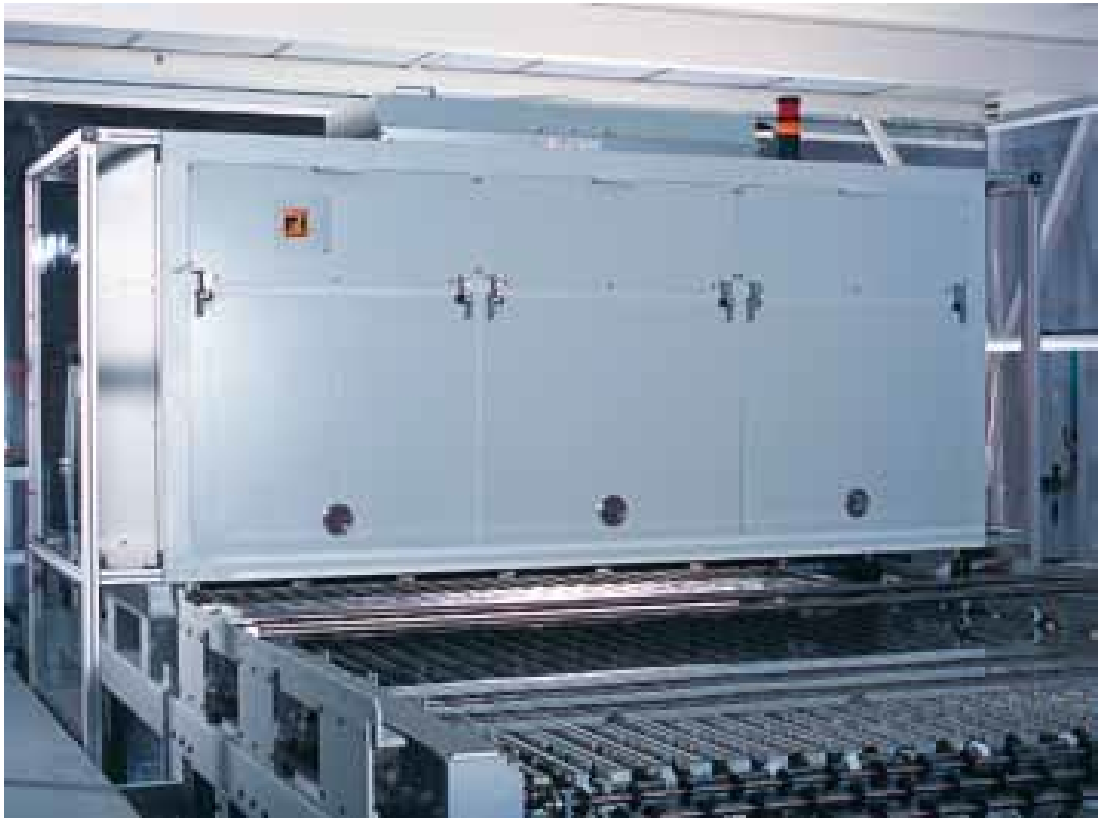


Рис. 6 –Система контроля листового стекла Glass Inspect фирмы Dr. Schenk

Таблица 1 – Оценка методов обнаружения дефектов листового стекла

Метод/критерий	Точность определения дефектов	Скорость анализа	Стоимость	Простота использования	Влияние внешних факторов
Инфракрасная дефектоскопия	Высокая	Высокая	Высокая	Средняя	Среднее
Ультразвуковая дефектоскопия	Средняя	Высокая	Средняя	Средняя	Низкое
Рентгеновская дефектоскопия	Средняя	Высокая	Средняя	Средняя	Среднее
Спектроскопия	Высокая	Низкая	Очень высокая	Низкая	Среднее
СТЗ	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокое

Заключение:

Проанализировав каждый из методов, можно сделать вывод о том, что самым оптимальным является метод, подразумевающий использование систем технического зрения. Использования системы технического зрения будет вполне достаточно, для удовлетворения большинства требований, предъявляемых к выпускаемой продукции на предприятиях по производству листового стекла.

Высокая стоимость оборудования, а также влияние внешних факторов, полностью компенсируются точностью и скоростью процесса обнаружения дефектов, а также простотой использования оборудования. При этом, внедрение системы технического зрения в технологический процесс, повлечет за собой автоматизацию процесса контроля листового стекла, а также увеличит качество выпускаемой продукции. Таким образом, внедрение систем технического зрения поможет существенно улучшить производственные процессы в сфере стекольной промышленности.

Завалишинские чтения

Разработка алгоритма мониторинга и управления техническим состоянием электротехнических комплексов газопоршневых агрегатов с синхронными генераторами

Зайниев Азат Венерович, аспирант

Хакимьянов Марат Ильгизович, д.т.н., профессор

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Цели и задачи исследования

Завалишинские чтения

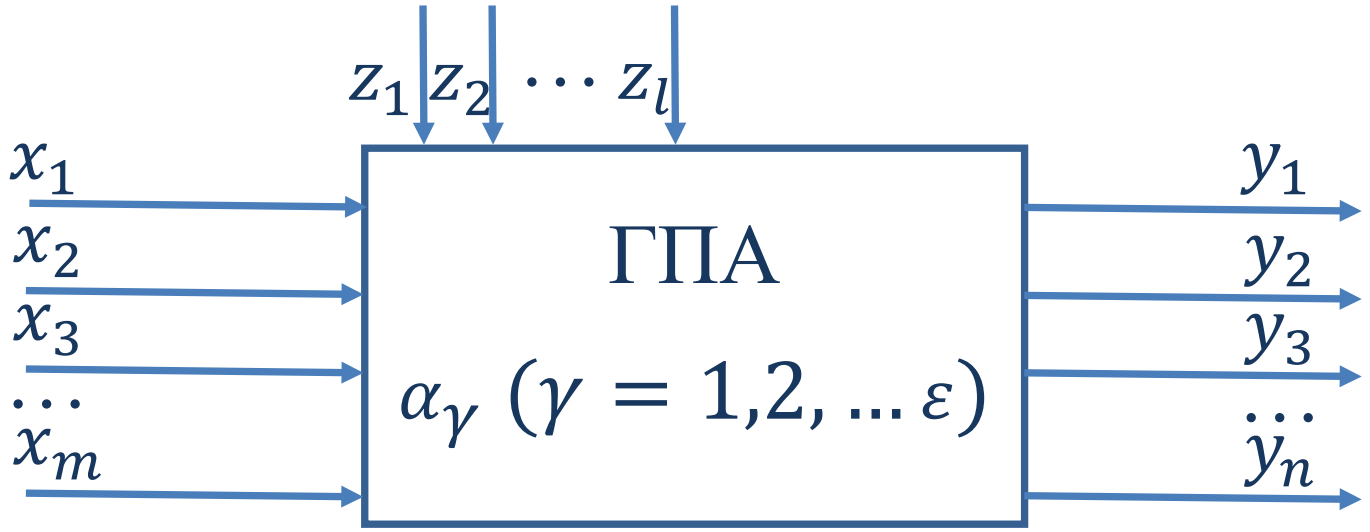
Цель: провести исследование алгоритма мониторинга и управления техническим состоянием газопоршневого агрегата.

Задачи:

1. Рассмотреть существующие подходы к построению алгоритмов диагностирования.
2. Предложить алгоритм, который позволит повысить качество управления техническим состоянием газопоршневого агрегата и может стать основой для совершенствования стратегии ремонтов по фактическому техническому состоянию.

Представление ГПА в виде «черного ящика»

Завалишинские чтения



x_i $(i = 1,2, \ldots m)$ - **величины, которые вводятся в объект (параметры топливного газа, окружающей среды, управляющих воздействий и т.д.);**

y_j $(i = 1,2, \ldots n)$ - **величины, которые являются реакциями объекта (напряжение, мощность, температура выхлопных газов и т.д.);**

z_k $(k = 1,2, \ldots l)$ - **внешние факторы, воздействующие на объект (параметры окружающей среды, нагрузки, внешней электрической сети и т.д.);**

α_γ $(\gamma = 1,2, \ldots \varepsilon)$ - **внутренние факторы (износ функциональных элементов, характеристики моторного масла и т.д.).**

Диапазоны индекса технического состояния*

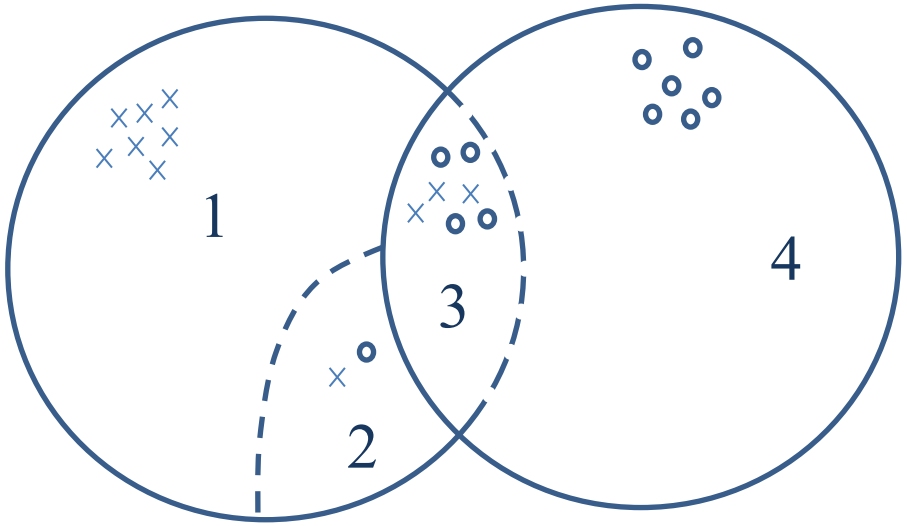
Завалишинские чтения

Диапазон индекса технического состояния, о.е.	Вид технического состояния	Вид технического воздействия
≤0,25	Критическое	Вывод из эксплуатации, техническое перевооружение и реконструкция
0,25 < и ≤0,50	Неудовлетворительное	Дополнительное техническое обслуживание и ремонт, усиленный контроль технического состояния, техническое перевооружение
0,50 < и ≤ 0,70	Удовлетворительное	Усиленный контроль технического состояния, капитальный ремонт, реконструкция
0,70 < и ≤ 0,85	Хорошее	По результатам планового диагностирования
0,85 < и ≤ 1,00	Очень хорошее	Плановое диагностирование

***Приказ Минэнерго России от 26.07.2017 № 676**

Множество состояний ГПА как объекта диагностирования

Завалишинские чтения



1 – область отказов;

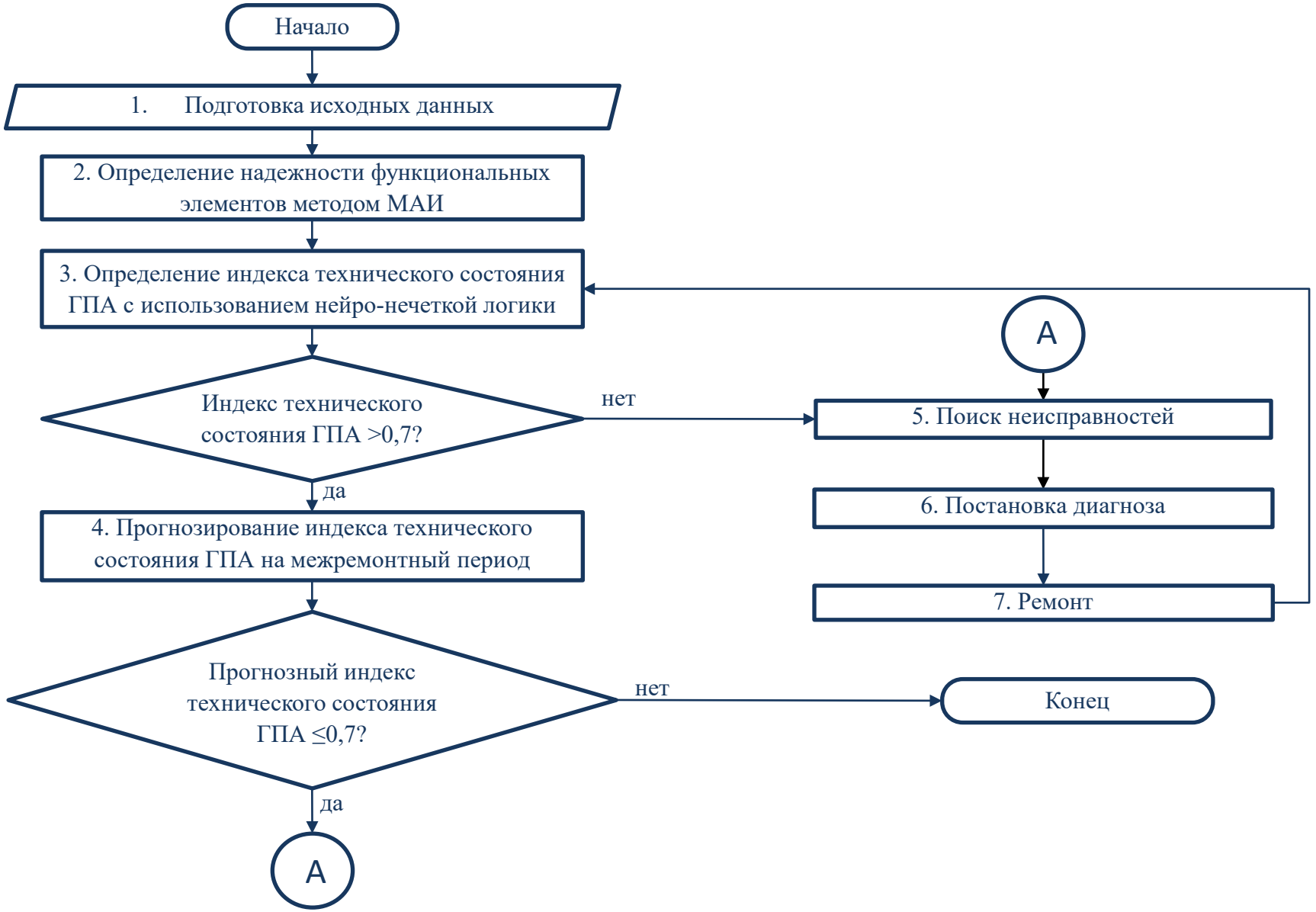
2 – область неработоспособных состояний с правильным функционированием в определенных режимах;

3 – область работоспособных состояний;

4 – область исправных состояний.

Алгоритм мониторинга и управления техническим состоянием ГПА

Завалишинские чтения



Заключение

Завалишинские чтения

1. Предложен алгоритм мониторинга и управления техническим состоянием ГПА, находящегося в эксплуатации, который, помимо поиска неисправностей, учитывает показатели надежности функциональных элементов газопоршневого агрегата, а также интегральный показатель фактического технического состояния в настоящем и его прогнозное значение на межремонтный интервал времени.
2. Предложенный алгоритм позволяет повысить качество мониторинга и управления техническим состоянием ГПА за счет учета показателей надежности, непрерывного анализа фактического технического состояния и его прогнозирования.
3. В настоящей статье не рассматривался порядок и методы поиска неисправностей. Данный вопрос будет рассмотрен в будущих работах.
4. Предложенный алгоритм может стать основой для совершенствования стратегии ремонтов ГПА по фактическому техническому состоянию.

«Разработка интеллектуального алгоритма управления освещённостью»

Авторы:
Кузьменко Юрий Павлович - студент
Солёный Сергей Валентинович – зав. кафедрой, к.т.н, доцент
Санкт-Петербургский университет аэрокосмического приборостроения

Санкт-Петербург
2025

Рассматриваемая проблема

Завалишинские чтения

Интеллектуальные системы управления освещением
- Технологии: Интеграция сенсоров, IoT и машинного обучения для автоматической регулировки освещенности.
- Применение:: используются в умных домах, офисах, образовательных и медицинских учреждениях, городском освещении.
- Преимущества:
- Снижение энергопотребления
- Повышение комфорта пользователей
- Улучшение экологической обстановки
- Адаптивность: Регулирование по присутствию, естественному свету, времени суток и другим факторам.
- Перспективы: Разработка более эффективных алгоритмов для разнообразных условий эксплуатации и расширение внедрения энергоэффективных решений.

Понятие интеллектуального освещения

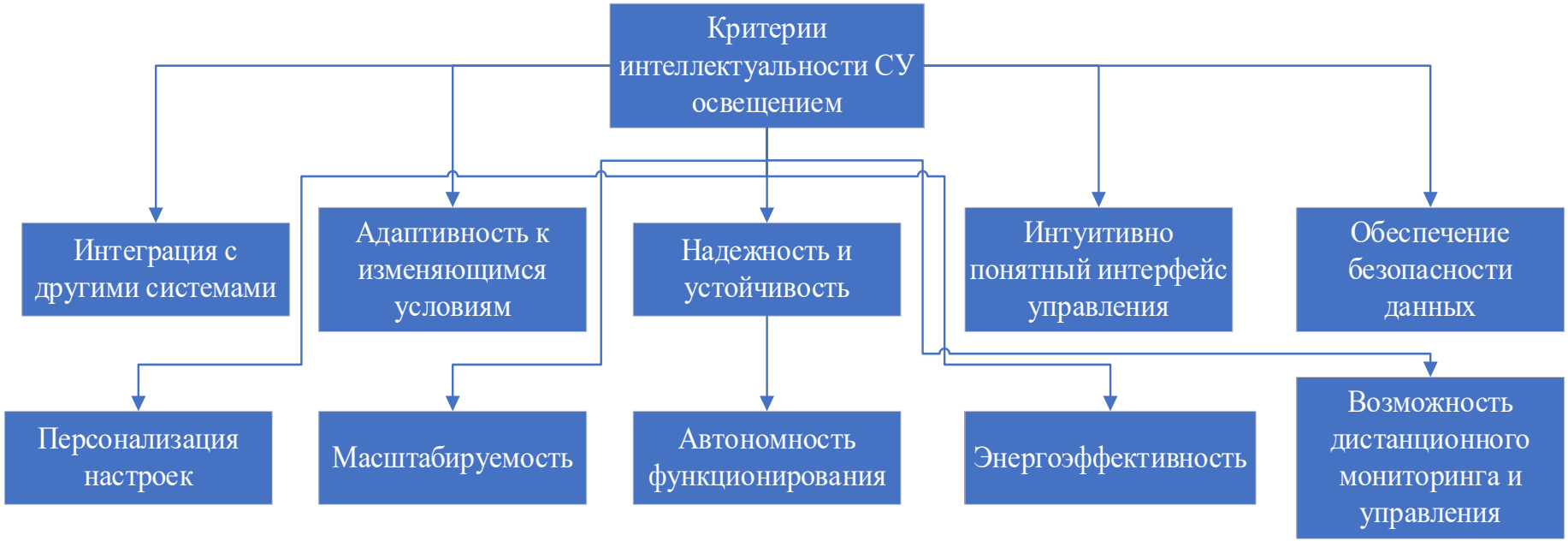
Завалишинские чтения

Интеллектуальное освещение представляет собой систему освещения, которая оснащена современными технологиями и средствами автоматизации, позволяющими ей самостоятельно регулировать параметры освещения в зависимости от различных факторов. Такие системы используют датчики, алгоритмы обработки информации и средства связи для обеспечения оптимального уровня освещенности, снижения энергопотребления и повышения комфорта пользователей. Интеллектуальное освещение может адаптироваться к изменениям внешней среды, присутствия людей, времени суток и другим условиям, обеспечивая эффективное и рациональное использование ресурсов.

Критерии интеллектуальности систем освещения

Завалишинские чтения

В современных системах освещения, обладающих интеллектуальными возможностями, выделяются несколько ключевых критериев, определяющих их эффективность, функциональность и соответствие требованиям современного пользователя.



Разработанный алгоритм мониторинга и управления освещённостью

Завалишинские чтения

Краткое описание алгоритма управления освещённостью:

1) Устройство передаёт измеренную освещённость $E_{изм}$. Система управления обрабатывает сигнал P_j от всех элементов

2) На основе P_j система определяет $E_{отр.j} = f(P_j)$ и рассчитывает E_{e0}

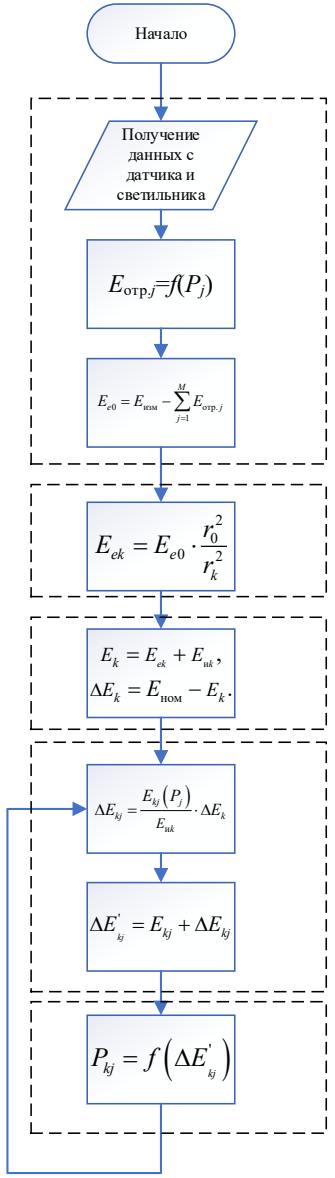
- уровень естественной освещённости E_{ek} на каждом рабочем месте

- суммарный уровень искусственного освещения $E_{ик}$ на основе полученных по P_j уровням освещённости каждого j-ой ОУ $E_{kj}=f(P_j)$.

3) Суммируя результаты, контроллер получает ΔE_k, которое компенсируется регулированием освещения.

4) Контроллер определяет сигнал P_{kj} для каждого светильника, учитывая его местоположение для компенсации ΔE_k.

5) Система оптимизирует P_{kj}, определяет сигнал управления P_j и отправляет его в осветительные приборы.



Выводы

Завалишинские чтения

Резюмируя все сказанное ранее интеллектуально управление освещением с помощью разработанного алгоритма имеет следующие особенности и преимущества

Энергоэффективность и комфорт:

Оптимизация энергопотребления

Создание комфортной и безопасной среды

Современные технологии:

Сенсорика, Интернет вещей, искусственный интеллект

Адаптивные алгоритмы для реального времени

Применение:

Жилые, промышленные объекты, городское пространство

Повышенная эффективность и надежность систем

Будущее освещения:

Интеграция новых технологических решений

Устойчивые и удобные в использовании системы

Преимущества разработанного алгоритма:

Гибкая настройка освещенности по биологическим показателям

Соответствие нормативным требованиям

Снижение капиталовложений за счет использования недорогих датчиков

ГУАП

Завалишинские чтения

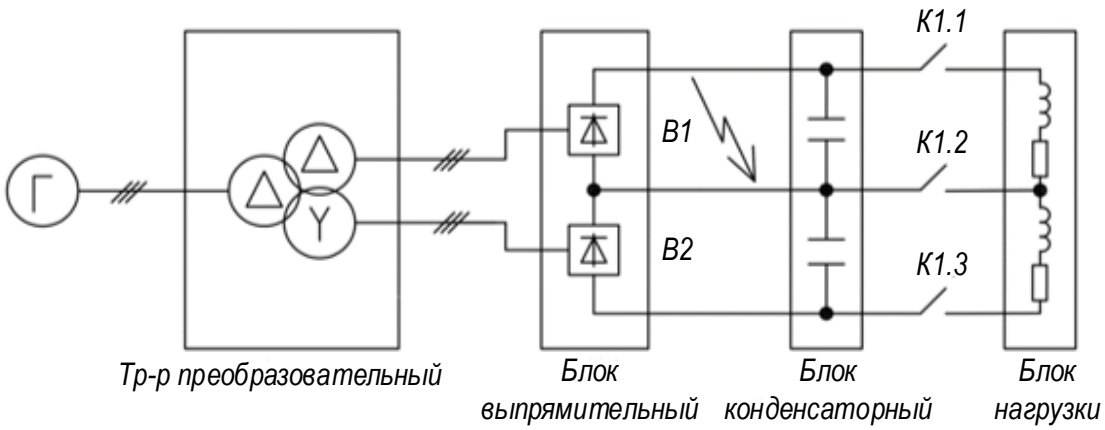
Спасибо за внимание

Санкт-Петербург
2025

№1.Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП



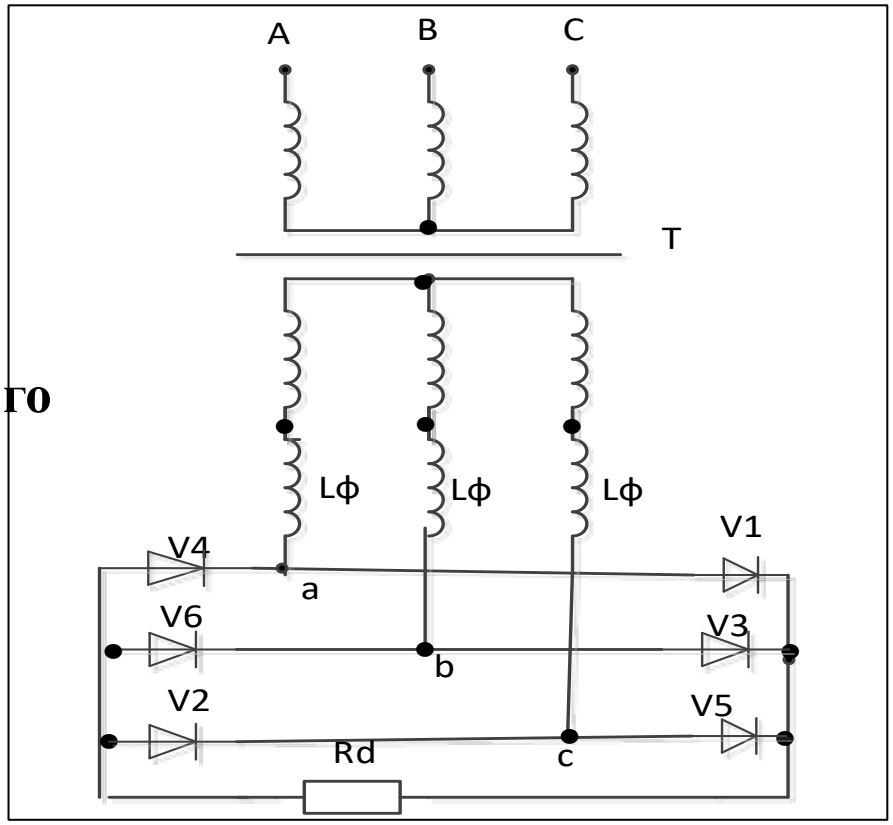
Структурная схема звена постоянного тока преобразователя частоты электропривода гребного винта

Завалишинские чтения

№2.Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Схема трехфазного мостового выпрямителя

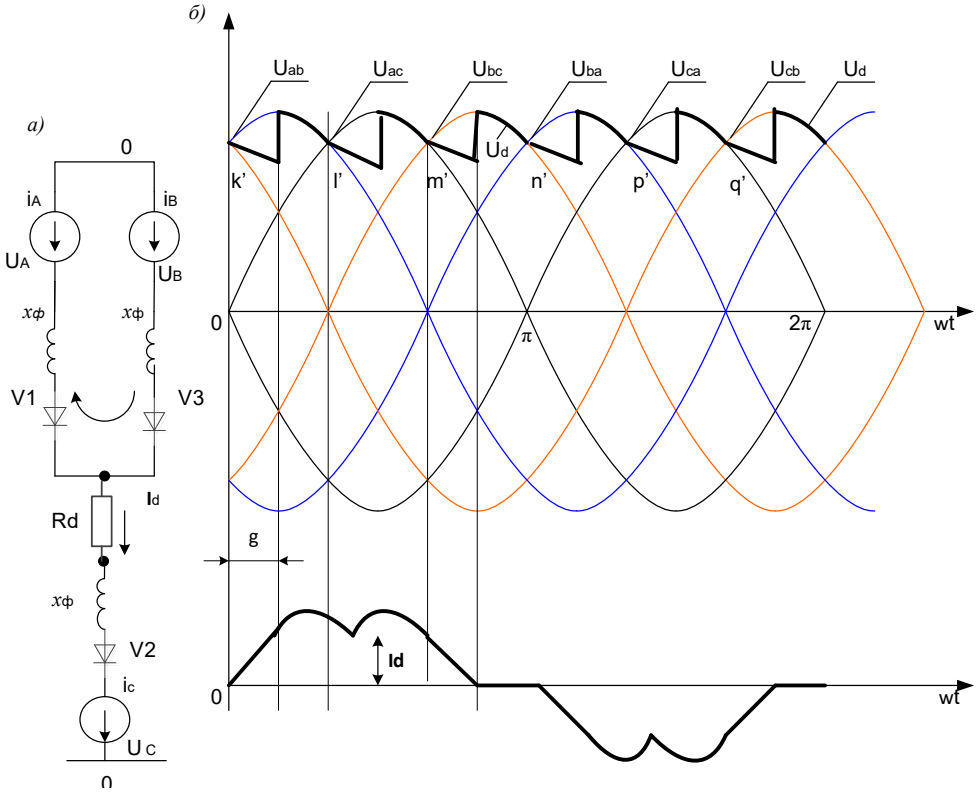


Завалишинские чтения

№3.Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Схема замещения выпрямителя на интервале коммутации (*а*) и временные диаграммы, поясняющие коммутационный процесс, (*б*)

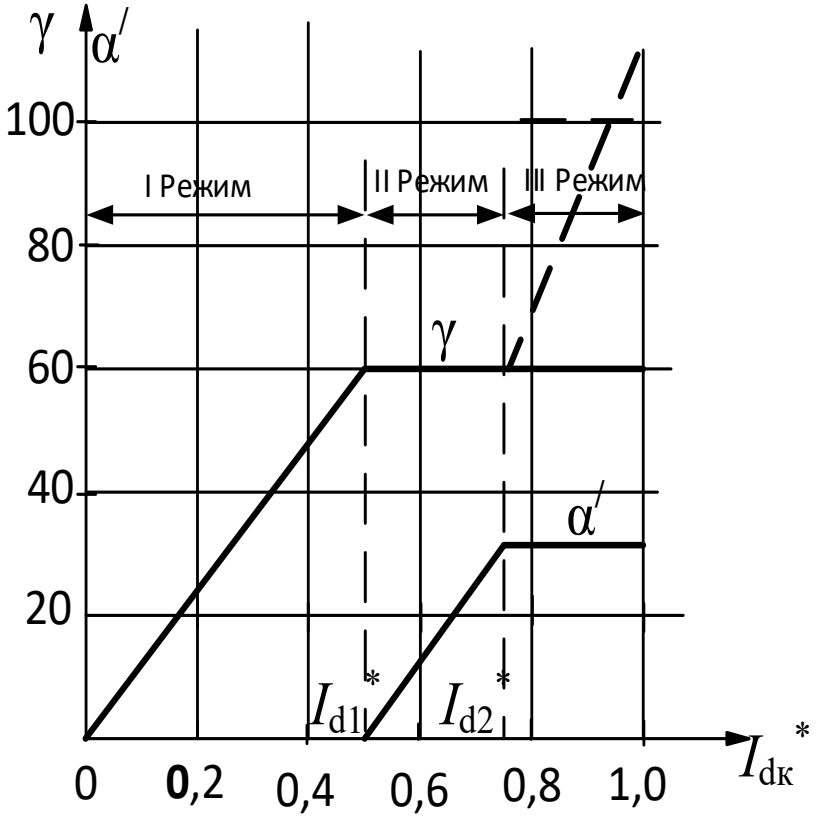


Завалишинские чтения

№4. Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Зависимости угла коммутации и фактического угла регулирования от тока цепи постоянного тока трехфазного мостового выпрямителя



Завалишинские чтения

№5. Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

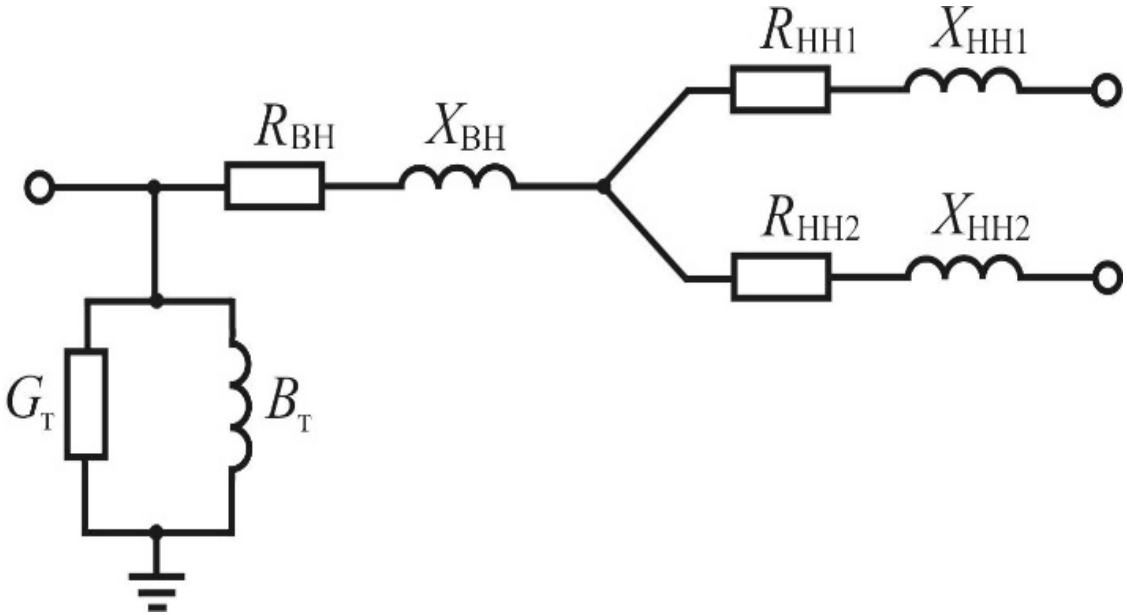
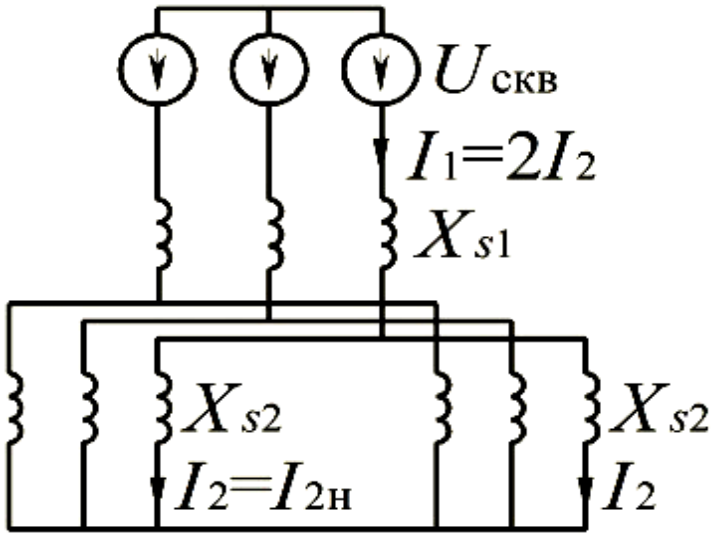


Схема замещения трансформатора с расщепленной обмоткой

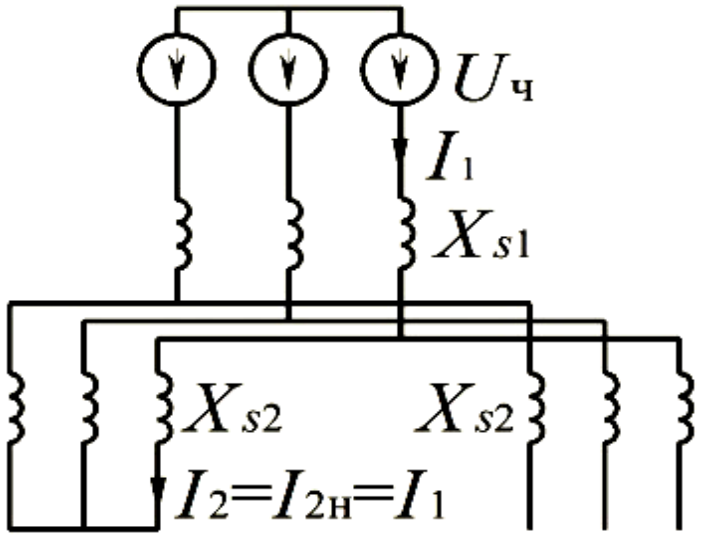
№6. Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Завалишинские чтения



Режим сквозного замыкания



Режим частичного замыкания

Упрощенные схемы замещения трансформатора с расщепленной обмоткой

№7. Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Завалишинские чтения

Эквивалентные индуктивные сопротивления рассеяния первичной и вторичных обмоток X_1 и X_2 трансформатора с расщепленной обмоткой

$$X_1 = \frac{2U_{\text{к.скв}} - U_{\text{к.ч}}}{I_{1N}};$$

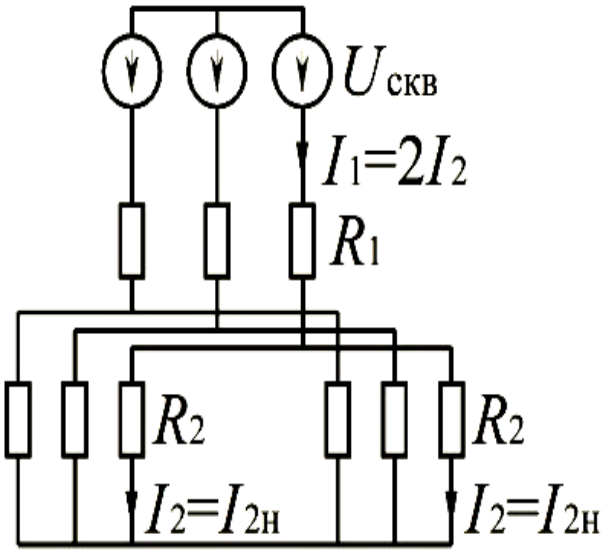
$$X_2 = 2\frac{U_{\text{к.ч}} - U_{\text{к.скв}}}{I_{1\text{N}}}.$$

№8. Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

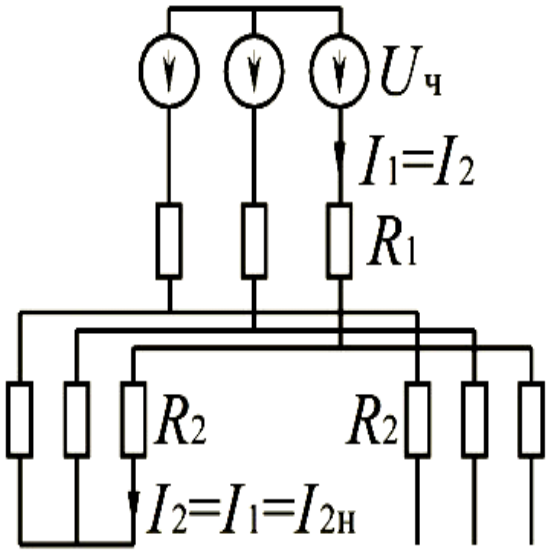
А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Завалишинские чтения

Упрощенные схемы замещения трансформатора с расщепленной обмоткой



Режим сквозного замыкания



Режим частичного замыкания

$$R_1 = \frac{2P_{скв} - P_ч}{3I_{1н}^2},$$

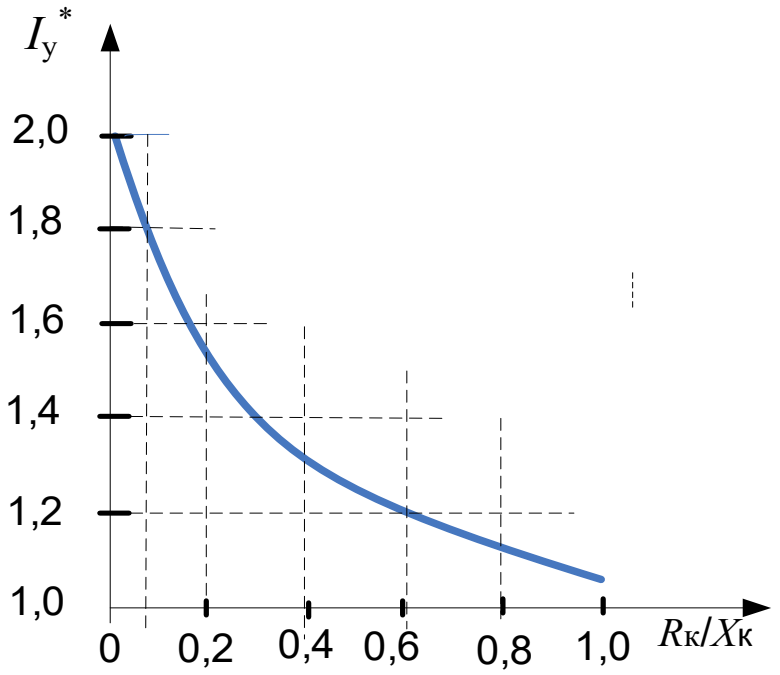
$$R_2 = 2\frac{P_ч - P_{скв}}{3I_{1н}^2}.$$

№9. Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Зависимость относительного значения ударного тока при глухом коротком замыкании от параметров выпрямителя

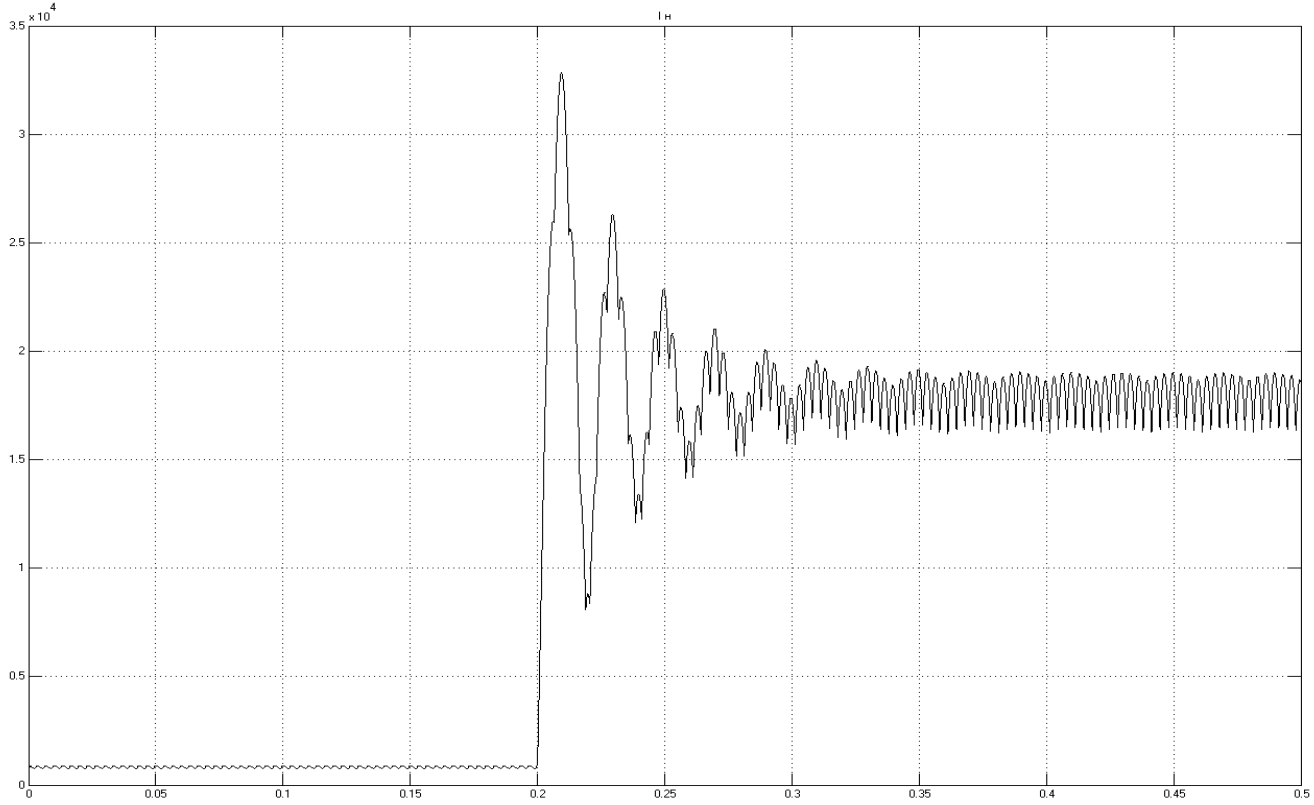


№10. Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Ток замкнутой накоротко цепи постоянного тока

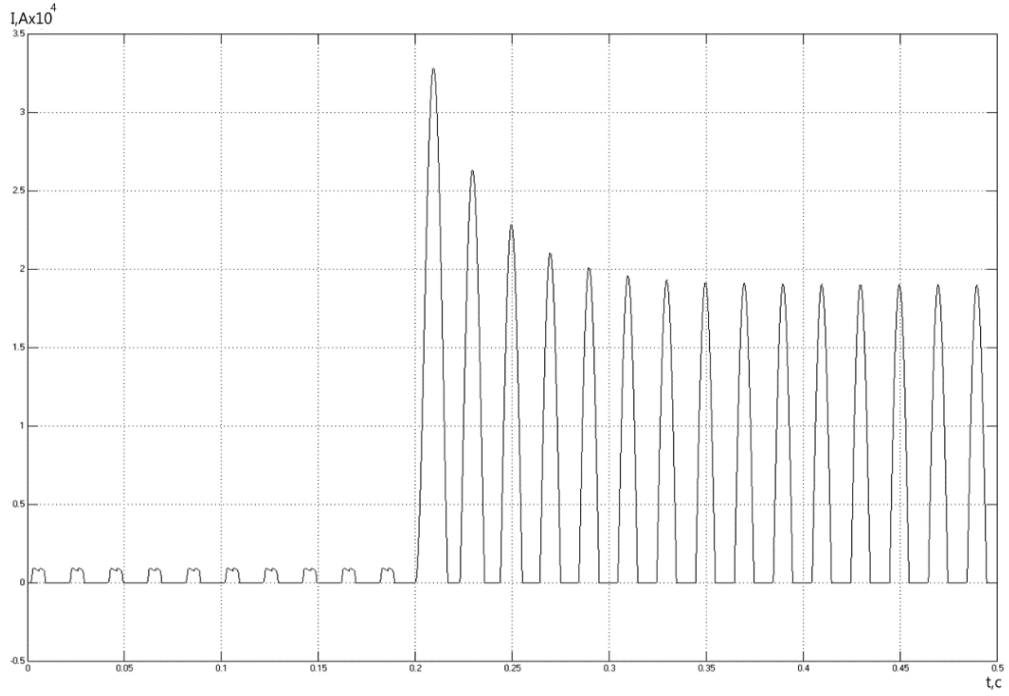


№10. Учет влияния процессов коммутации выпрямителя на переходные и установившиеся режимы его работы

А.А . Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Завалишинские чтения

Ток диода выпрямителя



Завалишинские чтения

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Авторы: аспирант гр.А3321 Прокофьева М.К., кандидат технических наук, доцент Булатов В.В.

Организация: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

Актуальность: Контроль качества на производственных линиях является актуальной проблемой. Есть множество способов контроля, но отсутствует общая методика для сбора данных и анализа дефектов, существует необходимость создания общей классификации.

Цель: Систематизировать дефекты различных материалов, разработка классификации, которая будет учитывать особенности дефектов различных материалов при оптическом контроле листовых материалов.

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

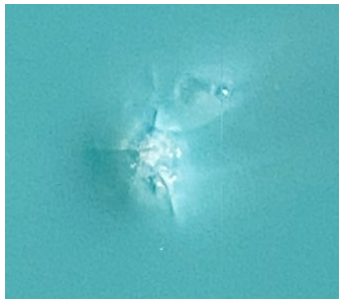


Рис. 1 – Пузырь (Стекло)

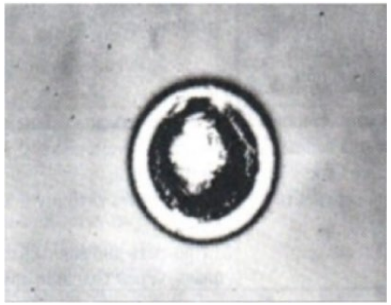


Рис. 2 – Капли олова с ореолом и границей реакции (Стекло)

Рис. 3 – Шлир (Стекло)

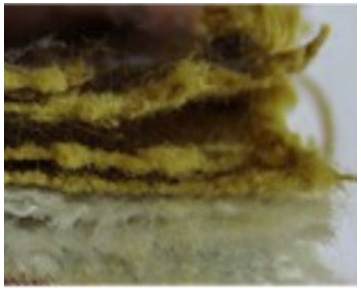


Рис. 4 – Расслоение (Композит)

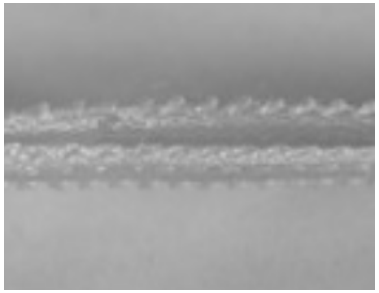


Рис. 5 – Трещина (Композит)

Рис. 6 – Сухое пятно (Композит)

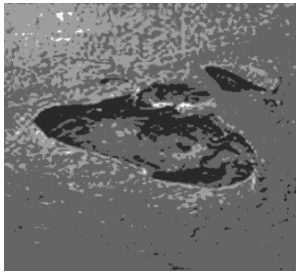


Рис.7 – Раковина вдав (Металл)

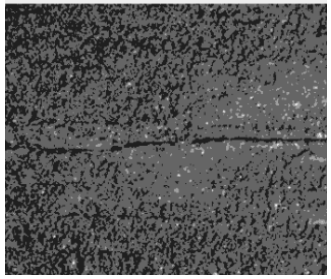


Рис.8 – Раскатная трещина (Металл)

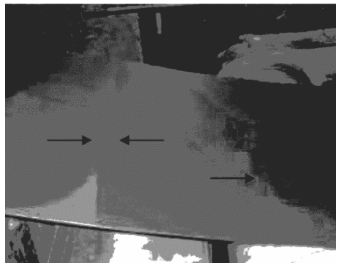
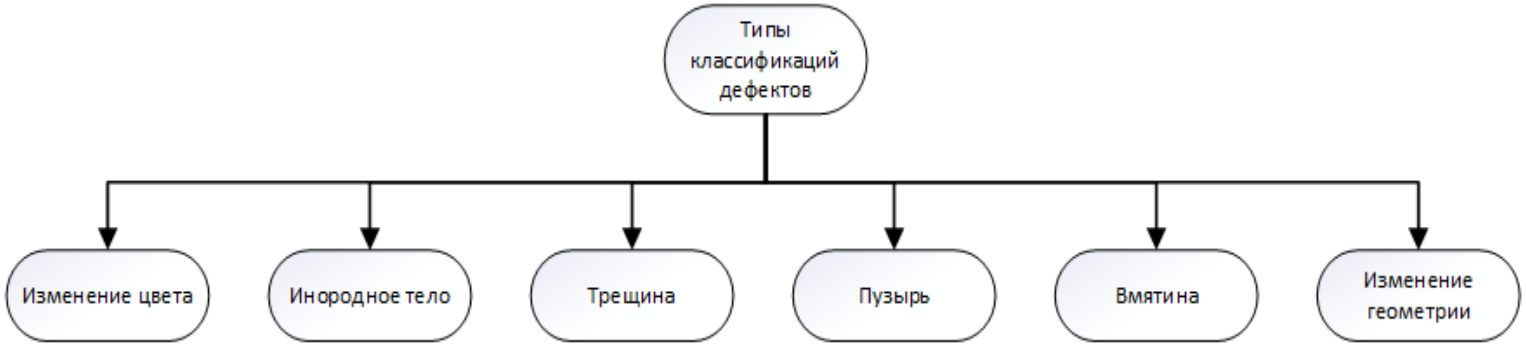


Рис.9 – Перегибы (Металл)

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Рассмотрим возможные поверхностные (и внутренние для непрозрачных материалов) дефекты. Обобщенно, после изучения ГОСТ 21014-2022 «Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения», ГОСТ 32361-2013 «Стекло и изделия из него. Пороки. Термины и определения», ГОСТ Р 56975—2016 «Композиты полимерные Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов» можно выделить общие типы классификаций для диагностики, которые прослеживаются в каждом из материалов.



Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

№	Вид дефекта	Материал	Нормативный документ
Трещина			
1	Волосовина	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
2	Морщины	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
3	Посечка	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
4	Царапина	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
5	Расслаивание краев	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов
6	Растрескивание	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

Инородное тело			
7	Раскатанное загрязнение	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
8	Раскатанная окалина	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
9	Прилипшая крошка	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
10	Свиль	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
11	Инородное включение (металлическое)	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов
12	Инородное включение (неметаллическое)	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

Пузырь			
13	Пузырь-вздутие	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
14	Гармошка	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
15	Капиллярный пузырь	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
16	Открытый пузырь	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
17	Свищ	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов
18	Бугристость	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

Вмятина			
19	Раскатанный отпечаток	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
20	Раковина от выпавшей плены	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
21	Выколка	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
22	Раковина	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов
23	Пористая поверхность	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

Изменение цвета			
24	Серые пятна	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
25	Цвета побежалости	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
26	Блюм	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
27	Выщелачивание	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
28	Подгорание	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

Изменение геометрии			
29	Рванина на кромках	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
30	Зазубрины	Металл	ГОСТ 21014-2022 Металлопродукция из стали и сплавов. Дефекты поверхности. Термины и определения
31	Скол	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
32	Выступ	Стекло	ГОСТ 32361-2013 Стекло и изделия из него ПОРОКИ Термины и определения
33	Непропитанный участок	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов
34	Расслаивание краев	Композит	ГОСТ Р 56975—2016 Композиты полимерные. Показатели внешнего вида изделий из многослойных стеклокомпозитов

Классификация дефектов при оптическом контроле листового материала

Завалишинские чтения

Основные результаты:

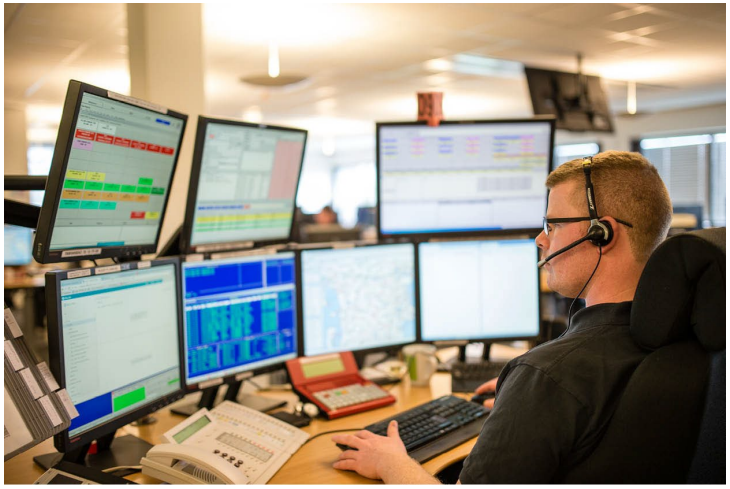
Распределения дефектов по классификациям означает, что возможно создать единый алгоритм и диагностическую модель для проверки и классификации пороков различных материалов. На основе алгоритма и диагностической модели можно создать систему по контролю качества с поиском и классификацией дефектов, с последующей дефектацией листовых материалов.

Моделирование процесса изменения работоспособности человека-оператора в производственном процессе

Завалишинские чтения

М. В. Сержантова
Государственный университет аэрокосмического приборостроения

Исследуется проблема снижения вероятности возникновения неточных и ошибочных команд в рабочем цикле произносимых человеком-оператором и интегрированным в управление производственным процессом с помощью голосового помощника. Решение проблемы найдено в контроле в рабочем цикле отрезков высокой работоспособности человека-оператора, чтбы снизить неточные голосовые команды отдаваемые им для управления оборудованием на производстве.



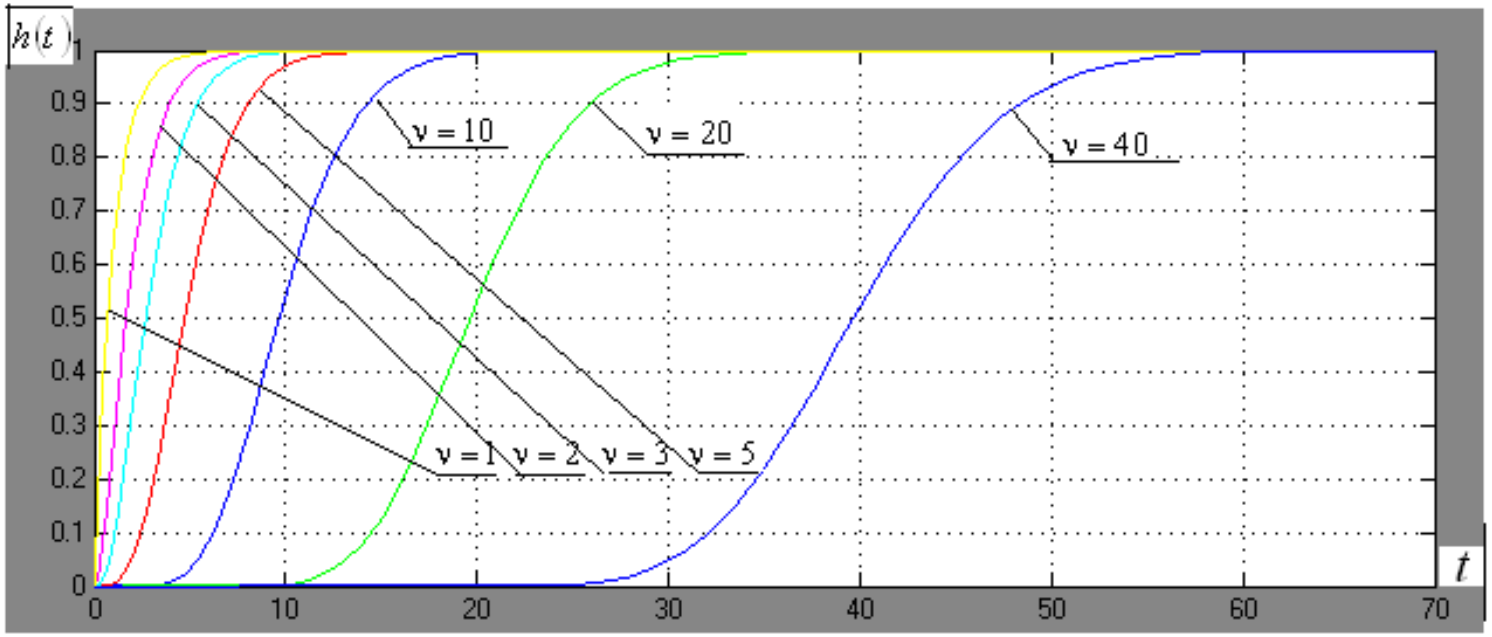
$$\widetilde{W}_{ПТ}(s) = \widetilde{W}_1(s)\ \ \widetilde{W}_2(s)\ \ [k]\left\{\frac{1}{([\widetilde{T}_1]s+1)}e^{-[\tau_1]s} - \frac{1}{([\widetilde{T}_2]s+1)}e^{-[\tau_2]s}\right\}$$

$$\widetilde{W}_{ГП}(s) = [k]\left\{\frac{1}{([\widetilde{T}_1]s+1)}e^{-[\tau_1]s} - \frac{1}{([\widetilde{T}_2]s+1)}e^{-[\tau_2]s}\right\}\frac{1}{s}$$

$$\widetilde{W}(s) = [k]\left\{\frac{1}{([\mathrm{T}_1]\mathrm{s}+1)^{\nu_1}} - \frac{1}{([\mathrm{T}_2]\mathrm{s}+1)^{\nu_2}}\right\}\frac{1}{\mathrm{s}}$$

Моделирование процесса изменения работоспособности человека-оператора в производственном процессе

Завалишинские чтения



Рисунок

$$\widetilde{W}(s)=[k]\left\{\frac{1}{([\mathrm{T}_1]\mathrm{s}+1)^{\nu_1}}-\frac{1}{([\mathrm{T}_2]\mathrm{s}+1)^{\nu_2}}\right\}\frac{1}{\mathrm{s}}$$

Спасибо за внимание!

ГУАП

Завалишинские чтения

Определение параметров модели Джайлса–Атертона однофазного трансформатора на основе анализа холостого хода

Софронов Александр Андреевич – студент кафедры электромеханики и робототехники СПБ ГУАП

Санкт-Петербург, 2025

Проблемы параметризация модели Джайлса–Атертона

Завалишинские чтения

Для повышения точности моделирования переходных процессов в трансформаторах требуется учет нелинейных свойств материалов сердечника. Существуют различные описания и модели магнитных материалов, наиболее распространенной является модель Джайлса–Атертона. Для определения параметров этой модели необходима основная кривая намагничивания материала, а также предельная петля гистерезиса, при этом на практике возникают трудности связанные с предоставляемыми данными на материалы:

- Отсутствие информации о материале сердечника
- Информация о материале содержит одно гарантированное значение или ряд значений (индукция в сердечнике не менее 1,8 Тл при 5000 А/м)
- Предоставлена только основная кривая намагничивания материала
- В документации приведена петля гистерезиса без насыщения

Расчёт магнитной индукции и напряженности поля в сердечнике

Завалишинские чтения

Магнитная индукция в сердечнике:

$$B_{(t)} = -\frac{1}{w_2 \cdot S}\int_0^t e_{2(t)}dt$$

Напряженность магнитного поля в сердечнике:

$$H_{(t)} = \frac{w_1 \cdot i_{1(t)}}{l}$$

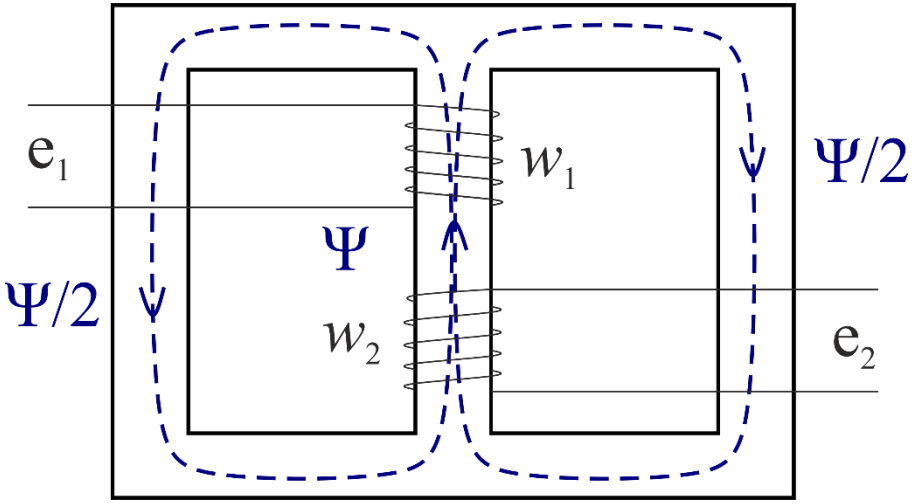


Схема броневого трансформатора

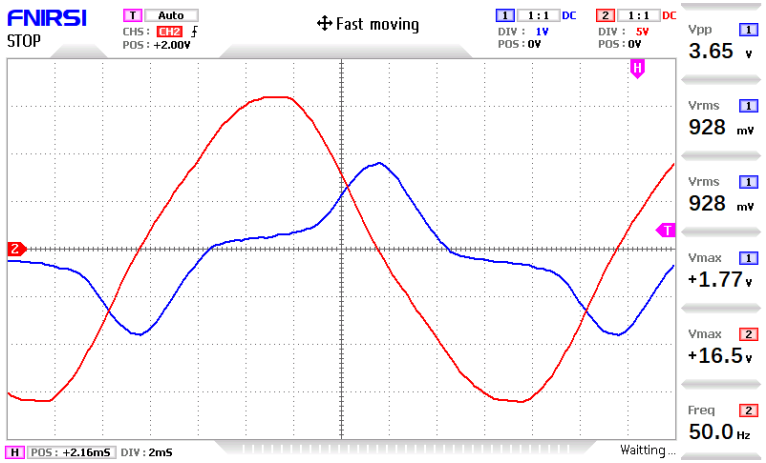
w_1, w_2 – количество витков,
S – сечение магнитопровода,
l – средняя длинна линии магнитопровода,
e_2 – напряжене на вторичной обмотке
i_1 – ток первичной обмотки

Параметры обмоток

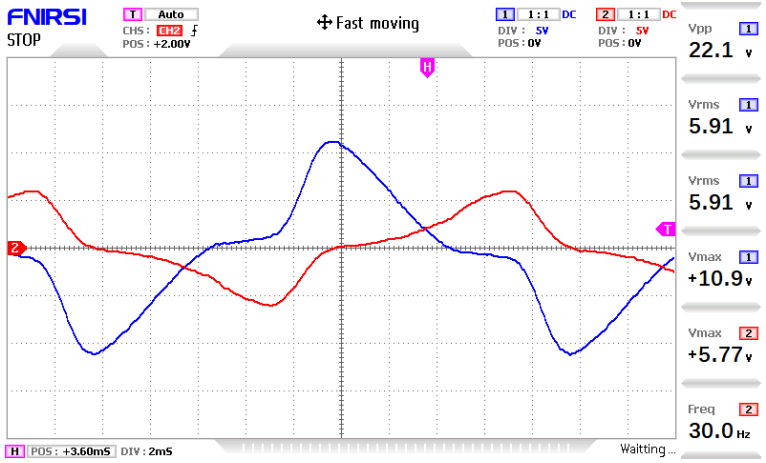
Обмотка №	1	2	3
w	42	84	950
U, в	22,7	220	220

Измерение на холостом ходу

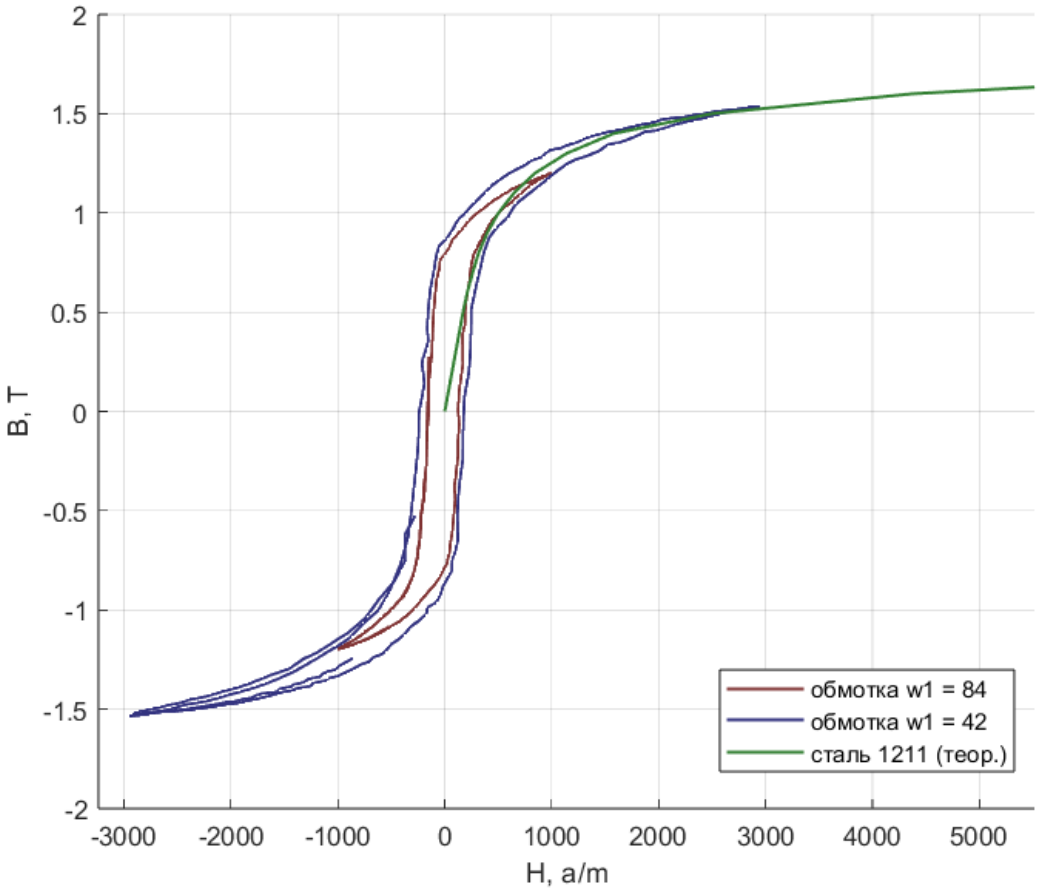
Завалишинские чтения



Первичная обмотка 84 витков
(желтый ток, синий - напряжение)



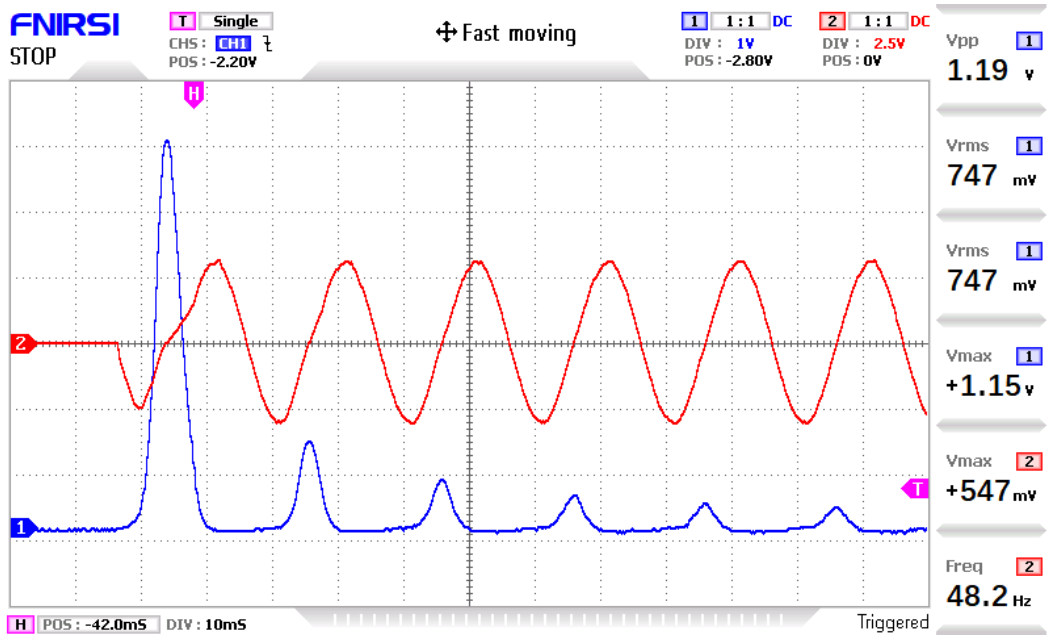
Первичная обмотка 42 витка
(желтый ток, синий - напряжение)



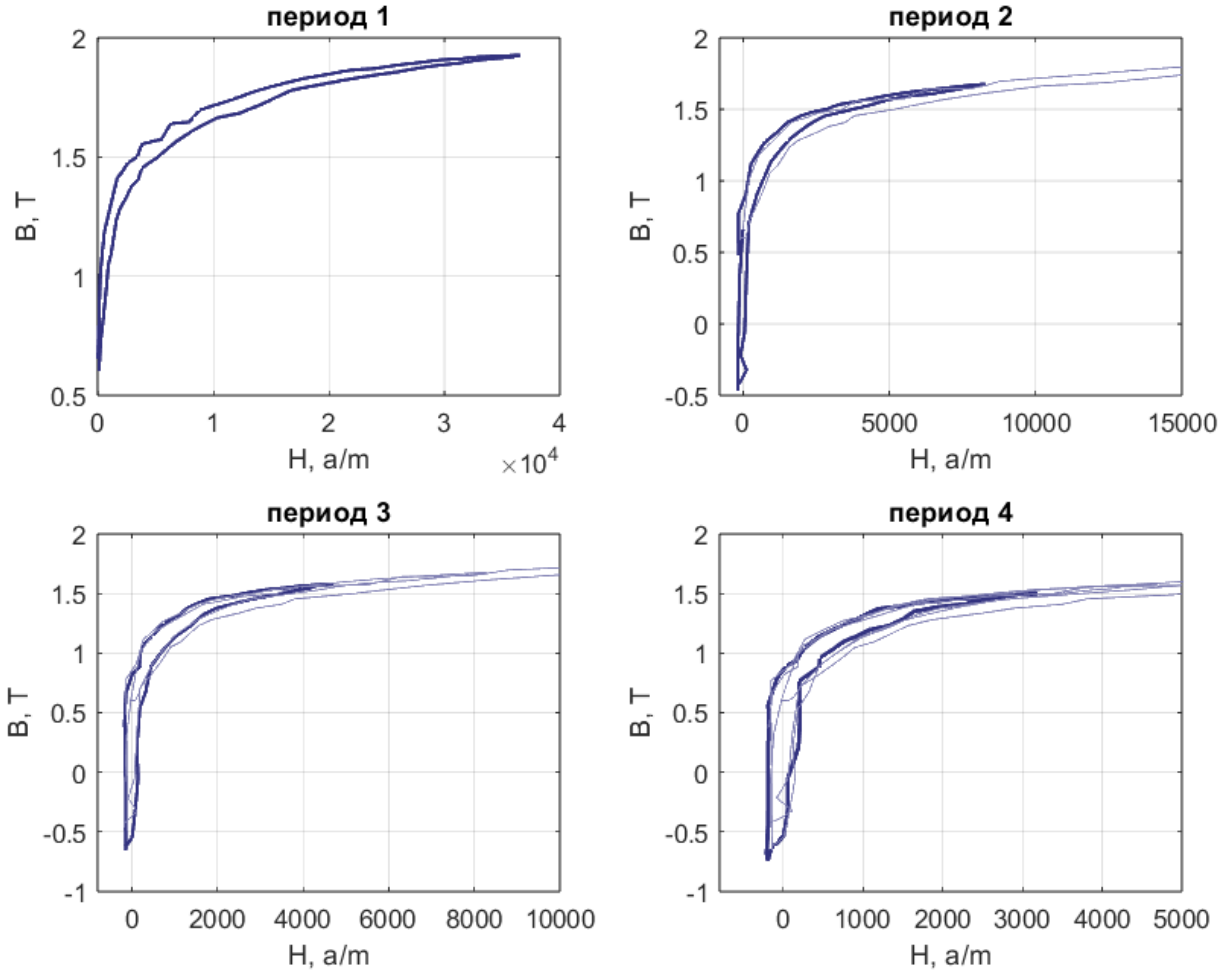
Частные петли гистерезиса для двух
тестовых обмоток

Измерение при переходном процессе пуска

Завалишинские чтения



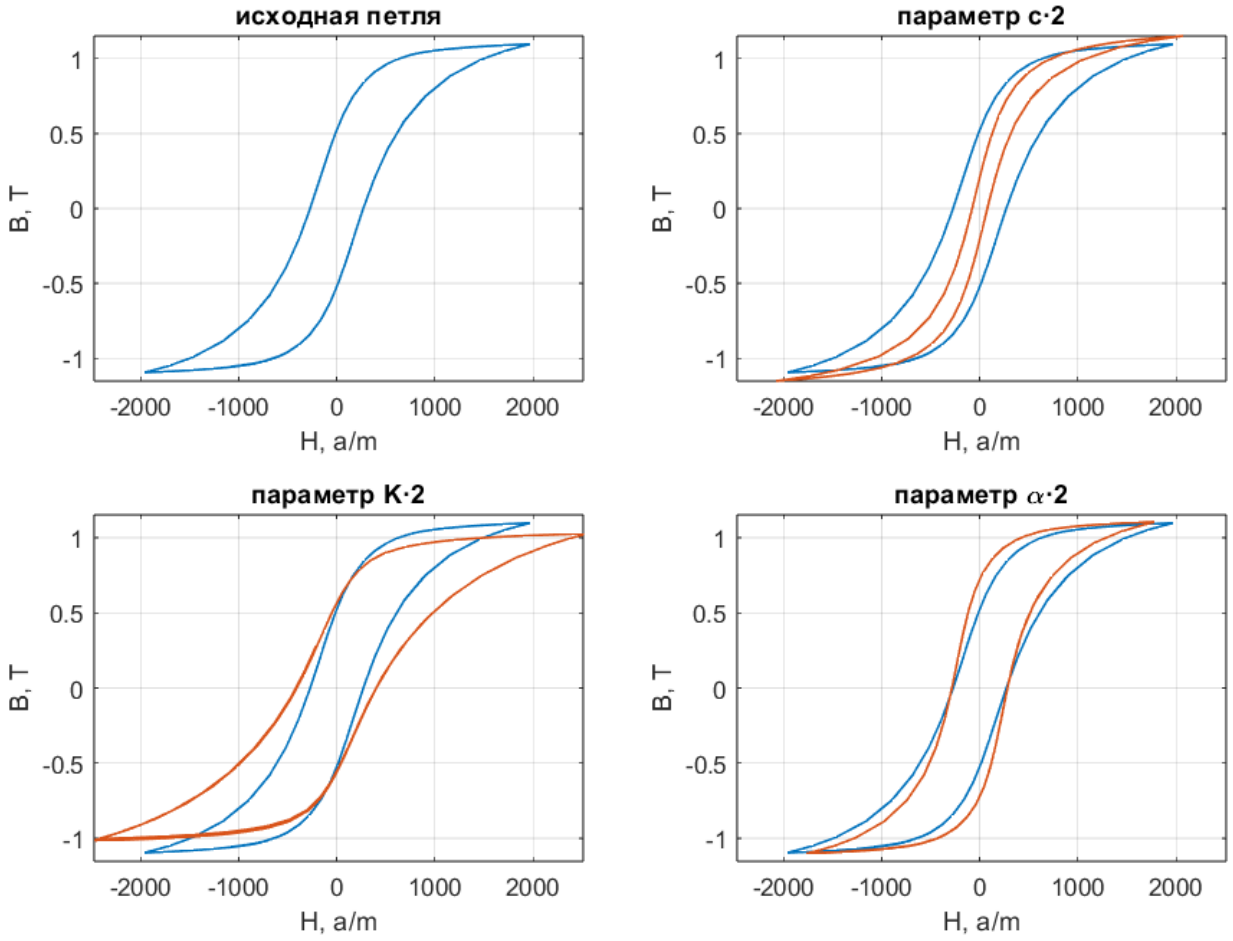
Осциллограмма пуска трансформатора (желтый ток, синий - напряжение)



Петля гистерезиса на каждом периоде

Влияние параметров модели Джайлса–Атертона

Завалишинские чтения

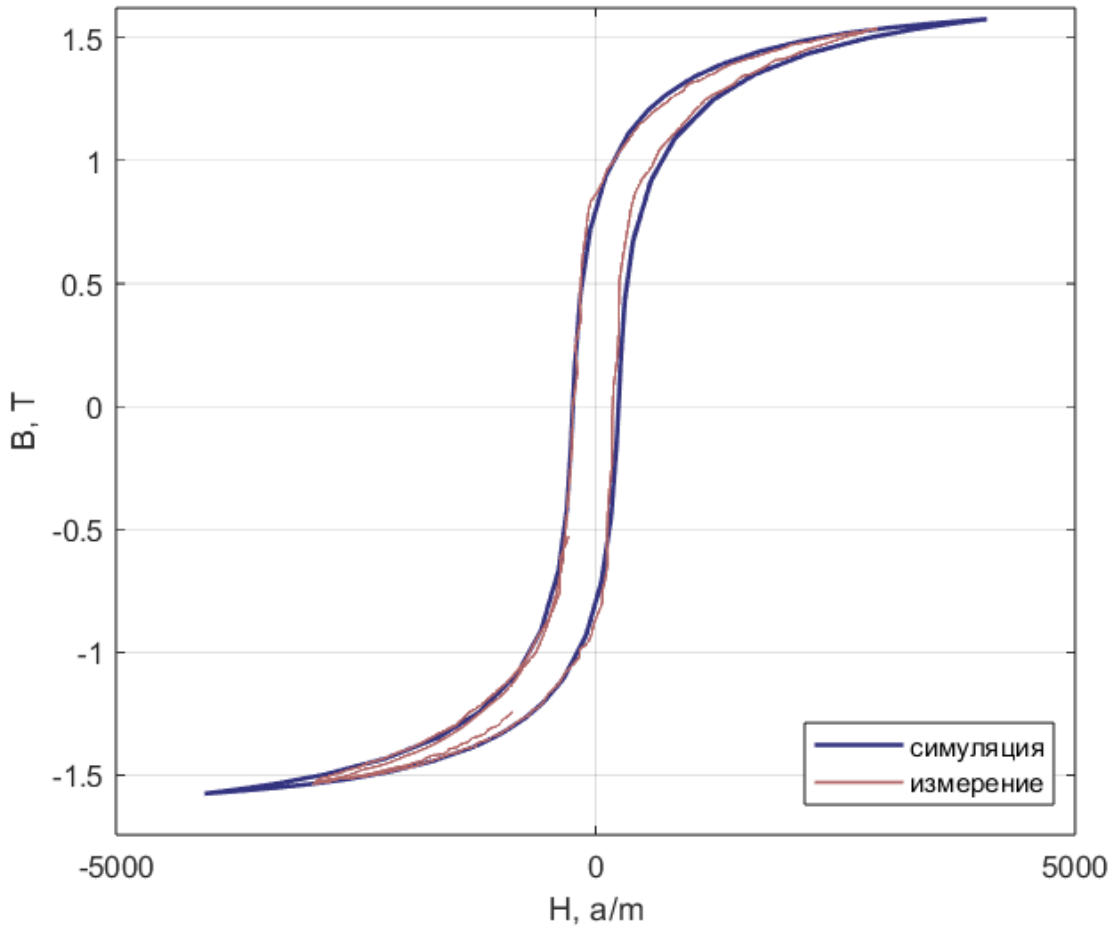


Влияние параметров на вид гистерезиса

Порядок определения параметров модели Джайлса–Атертона:

1. По основной кривой намагничивания выбирается точка, соответствующая насыщенному сердечнику
2. По начальному участку основной кривой определяется наклон кривой
3. Параметр *c* влияет на наклон пелти, при значении равном 1 наклон будет совпадать с основной кривой намагничиваиня
4. Параметр *K* определяет пересечение с осью *X* (коэрцитивная сила)
5. Параметр *α* задаёт пересечение с осью *Y* (остаточная индукция)

Заключение



Результат подбора коэффициентов

Измерение тока намагничивания и напряжения холостого хода на вторичной обмотке позволяет получить петлю гистерезиса для однофазного трансформатора без применения специального оборудования. Это позволило получить параметры для настройки динамической модели однофазного трансформатора

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Софронов Александр Андреевич

alexandresofronoff@yandex.ru

@sofronov_alexander

Исследование оптимизации энергетических ресурсов с помощью программного кода

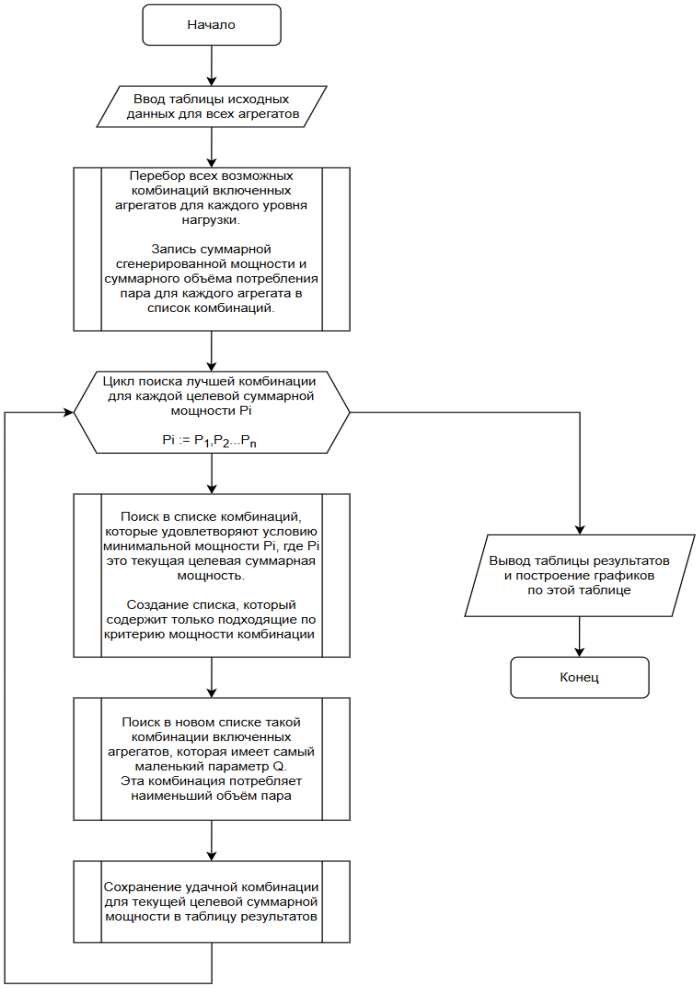
Завалишинские чтения

Н. К. Суслин, И. М. Тихомиров, М. В. Сержантова
Государственный университет аэрокосмического приборостроения

Предложен алгоритм оптимизации энергетических ресурсов. Алгоритм позволяет задать требуемую отдаваемую мощность электростанции, количество используемых на электростанции агрегатов и таблицу параметров агрегата. Результатом работы алгоритма является набор оптимальных комбинаций введённых в работу агрегатов.

Исследование оптимизации энергетических ресурсов с помощью программного кода

На рисунке приведена блок-схема алгоритма. На первом этапе производится обработка входных данных и полный перебор всех возможных комбинаций включённых агрегатов для каждой мощности нагрузки. Промежуточный результат работы алгоритма представляет собой массив комбинаций с двумя параметрами – потребляемый ресурс и мощность нагрузки. На втором этапе производится поиск комбинаций, которые выдают лучший результат для текущей мощности нагрузки. В результате может получиться одна или несколько комбинаций с одинаковыми параметрами для каждой мощности нагрузки.

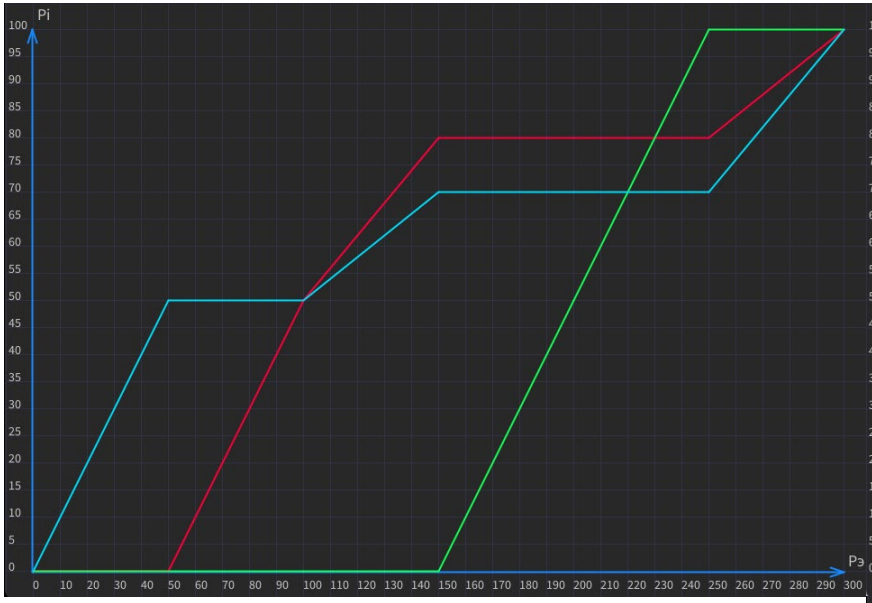


Реализация третьего этапа может быть произвольной.

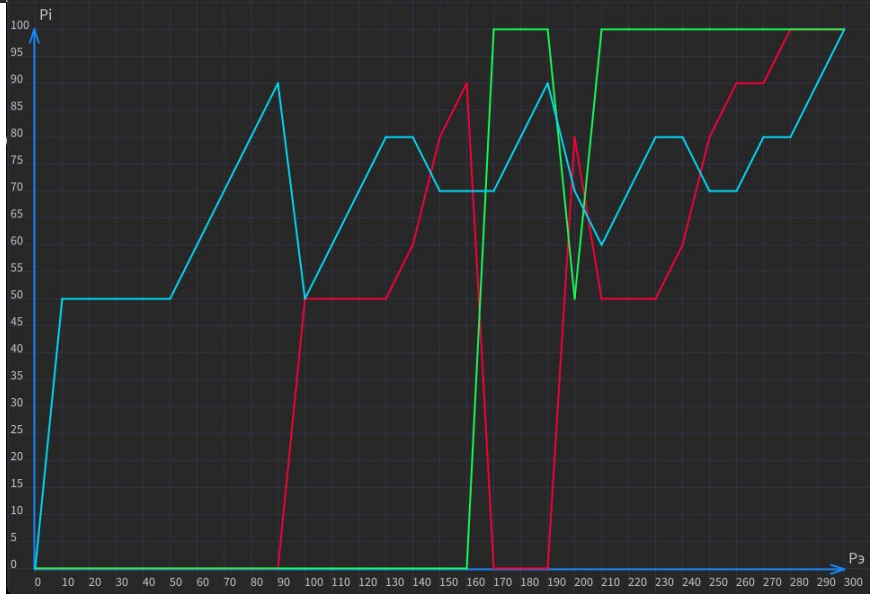
- Первый и самый наивный способ выбора конкретной комбинации - это выбор самой первой комбинации в списке лучших комбинаций для каждой мощности нагрузки. Этот способ подходит для ситуации, когда мощность нагрузки очень стабильна.
- Второй метод выбора конкретной комбинации для текущей мощности нагрузки Pn заключается в том, чтобы выбрать комбинацию, которая имеет минимальные отличия от P(n-1) или от P(n+1). Такой подход позволяет не только выбрать самую эффективную комбинацию включённых агрегатов, но и повышает эффективность работы станции при динамически изменяющейся во времени нагрузке. Повышение эффективности электростанции при использовании этого метода происходит из-за того, что при изменении мощности нагрузки требуется изменять состояние минимального количества агрегатов. Сам по себе ввод и вывод агрегата из работы приводит к дополнительным издержкам, поэтому предпочтительно выбрать алгоритм, который выбирает самые похожие комбинации введённых в работу агрегатов для близких мощностей нагрузки. Этот способ подходит для ситуации, когда мощность нагрузки постоянно изменяется.

Исследование оптимизации энергетических ресурсов с помощью программного кода

Завалишинские чтения



На рисунках продемонстрированы примеры графиков выходной мощности агрегатов при разных входных данных. По горизонтали расположена шкала мощностей нагрузки, а по вертикали шкала мощности, которую отдает каждый агрегат. Для каждого агрегата построен свой график. Сумма мощностей со всех агрегатов всегда равна мощности нагрузки.



Спасибо за внимание!

Система временной синхронизации для изучения процессов в плазме переменного тока промышленной частоты методом оптической эмиссионной спектроскопии.

Завалишинские чтения

Дьяченко А.А., Пинчук М.Э., Суров А.В., Никонов А.В., Серба Е.О., Наконечный Г. В., Попов С.Д.

Институт электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук (ИЭЭ РАН), Россия, 191186, г. Санкт-Петербург, Дворцовая наб. д. 18

Постановка проблемы исследования

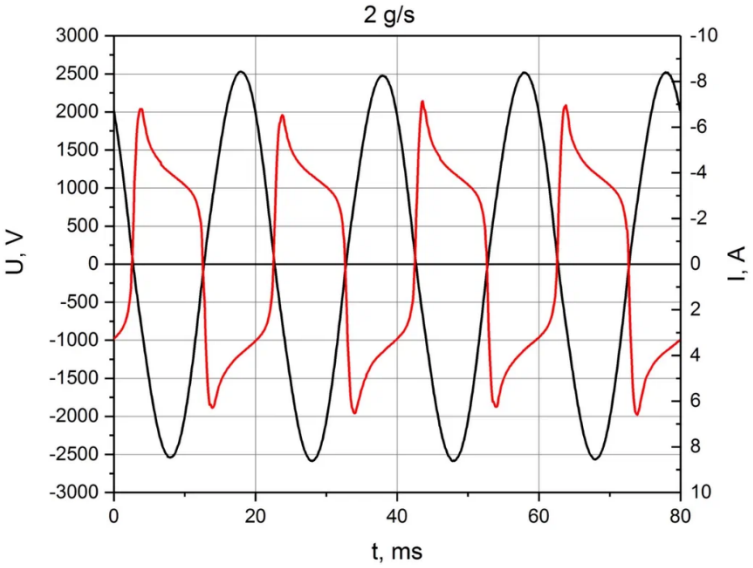
- Источники питания генераторов плазмы постоянного тока до 150 кВт дешевле, чем источники переменного тока аналогичной мощности.
- Для мощности выше 150 кВт целесообразно использовать генераторы плазмы с источниками питания переменного тока промышленной частоты.
- Для исследования плазмы в этом случае требуется синхронизация процесса измерения параметров плазмы с фазой тока.
- Для этого необходима схема создания синхронизирующих импульсов.

Что надо сделать?

- Разработать схему синхронизации
- Создать схему синхронизации
- Протестировать схему синхронизации в составе экспериментального стенда.

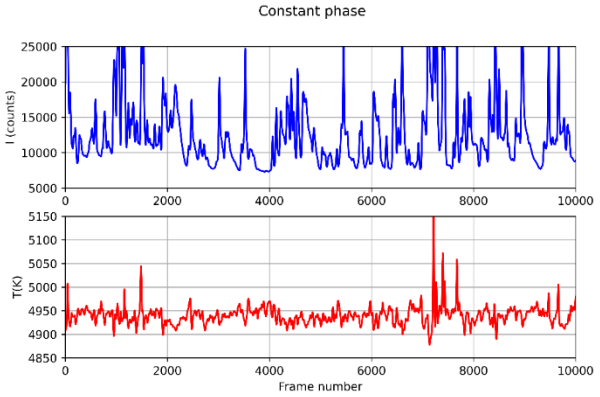
Объект исследования для тестирования прибора

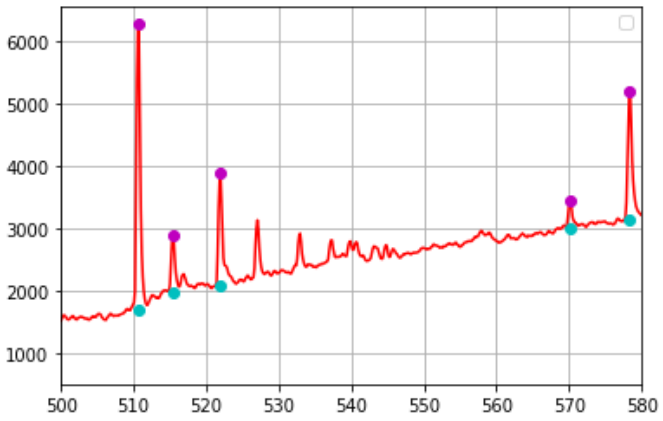
- Плазмотрон дугового разряда атмосферного давления с питанием частотой 50 Гц



Метод исследования

- Измерение температуры плазмы методом оптической эмиссионной спектроскопии по линиям меди.





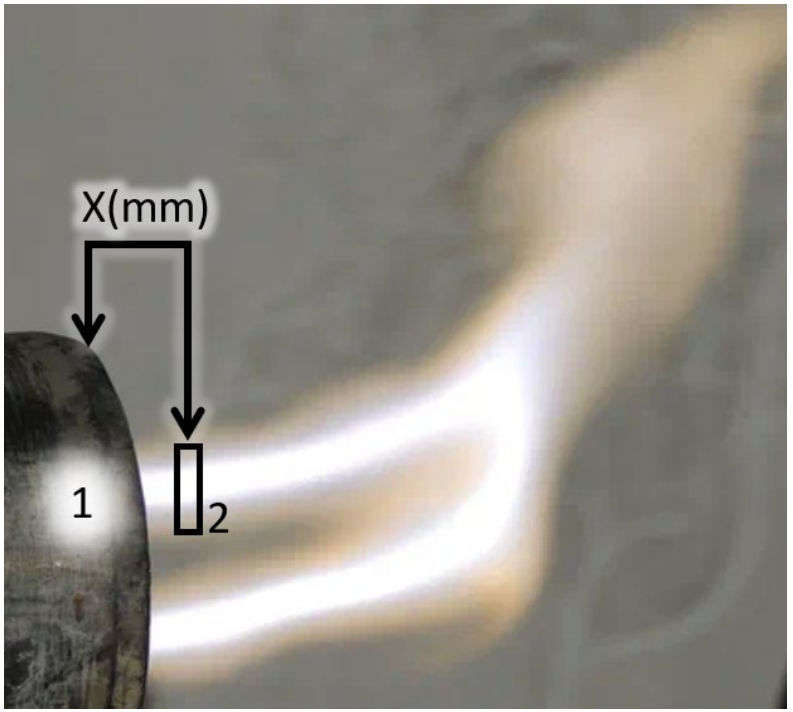


Схема прототипа

- Управление осуществляется по амплитуде с помощью 2 потенциометров в пределах меньше, чем Pi/4.
- 2 переключателя на Pi/2 и Pi/4
- Питание с лабораторного источника, сигнал 50 Гц берётся из электросети
- При превышении trigger level амплитуды сигнала выходной сигнал пропадает

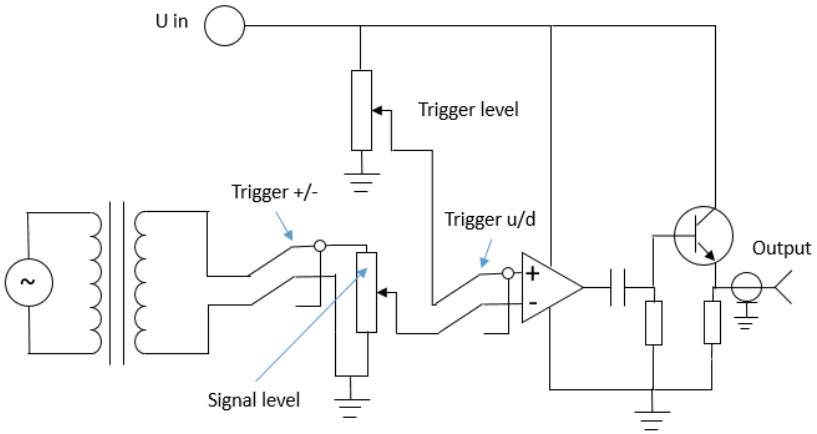


Схема усовершенствованного прототипа

- 2 переключателя на Pi/2 и Pi/4
- Питание с лабораторного источника, сигнал 50 Гц берётся из электросети.
- В систему встроен дополнительный генератор задержки до 20 мс, упрощающий навигацию.

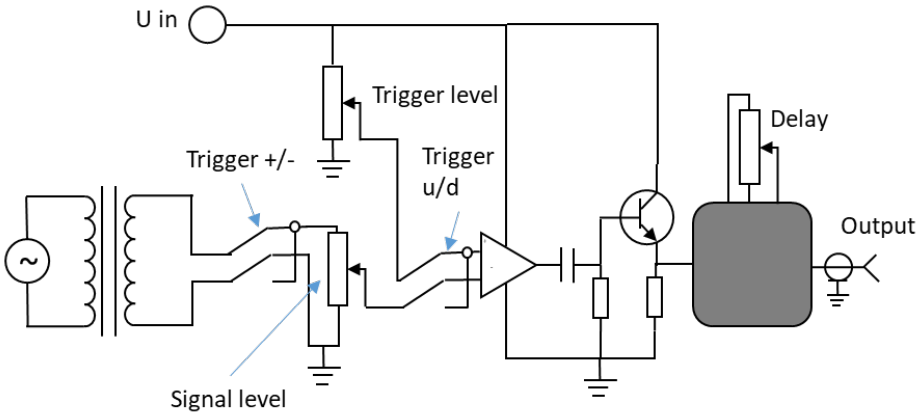
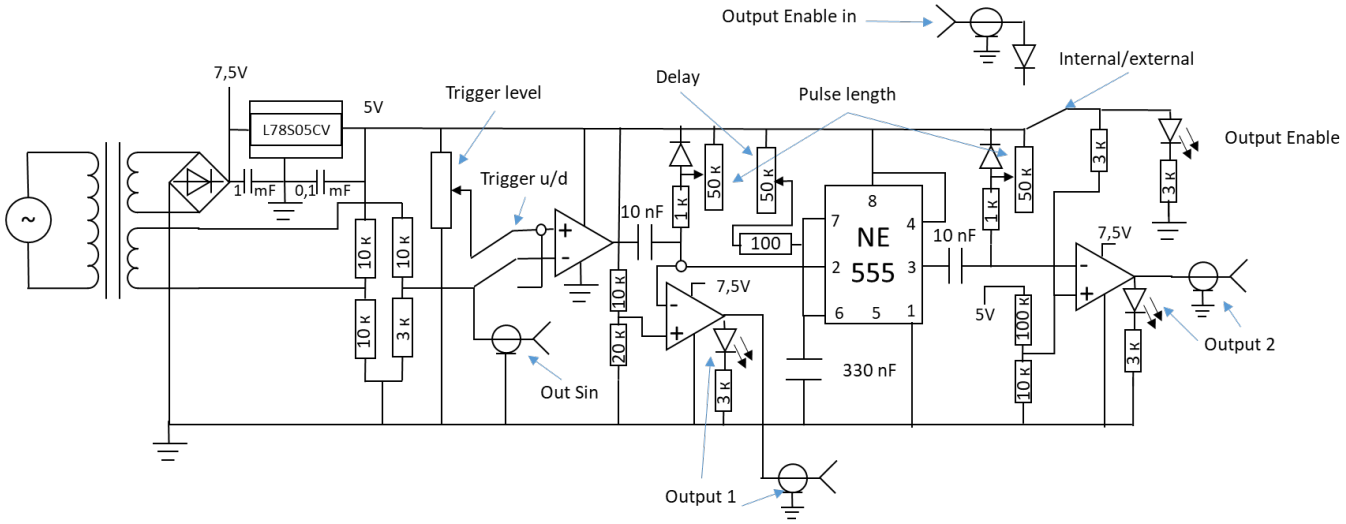


Схема 2.0.

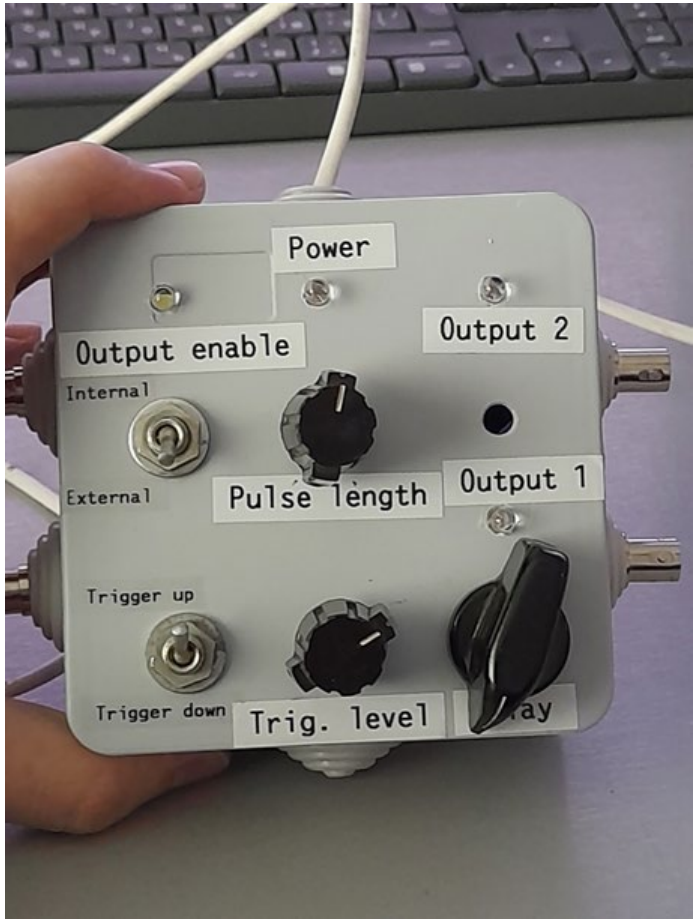
- Питание и привязка к фазе производится с помощью одного провода 220 V.
- Возможность регулировать задержку и ширину исходящих импульсов.
- Световая индикация
- Возможность работы с внешним разрешающим сигналом.

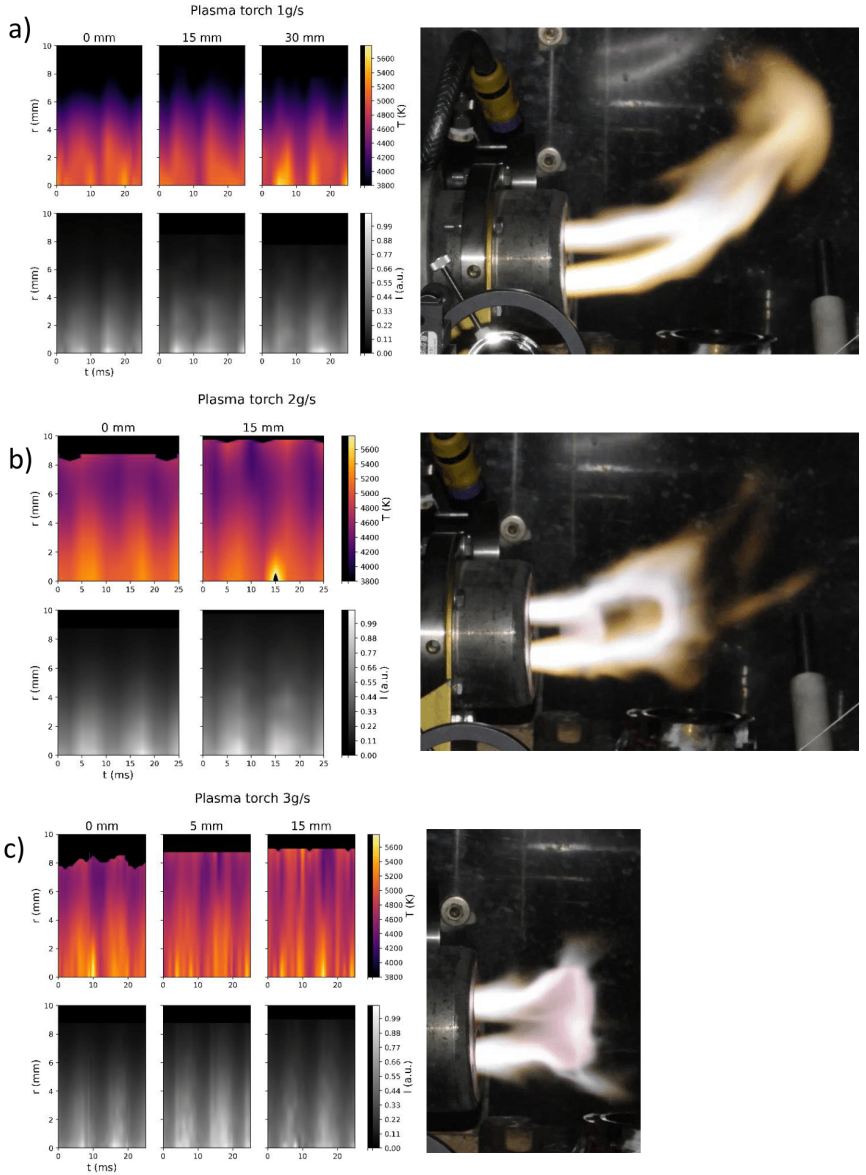


Система временной синхронизации для изучения процессов в плазме переменного тока промышленной частоты методом оптической эмиссионной спектроскопии.

Завалишинские чтения

Результаты





Спасибо за внимание!

Список источников:

1. Falstad. Falstad Circuit Simulator. https://www.falstad.com/circuit/

2. A. V. Surov, A. A. Dyachenko, A. V. Nikonov. Time-resolved spectral diagnostics of a high-voltage plasma torch. B Tomsk: Publishing House Tomsk Polytecnic University; 2022. c. 248.

3. Дьяченко АА, Пинчук МЭ. Автоматизированная система для сканирования пространственной структуры плазменной струи методом оптической эмиссионной спектроскопии. В: Инновационное приборостроение. 2024. с. 56–62. https://fs.guap.ru/zavread/2024/journal_ip.pdf

Завалишинские чтения

Анализ способов реализации позиционного электропривода на постоянных магнитах

Авторы:
Зенин Алексей Владимирович, Аспирант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП, инженер-электроник ООО «Научно-исследовательский экспертный центр инновационных технологий «ИНТЕХЭКСПЕРТИЗА»

Мартынов Александр Александрович, к.т.н., доцент кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Цель: теоретическое исследование возможности реализации позиционного электропривода на основе управляемой энергии взаимодействия токов ротора с постоянным магнитным полем статора

Предмет исследования: энергия взаимодействия постоянного магнитного поля статора и функции токов ротора электродвигателя

Объект исследования: позиционный электропривод

Работа по перемещению вала в магнитном поле:

$$A=\int Td\theta=\int MdB_r$$

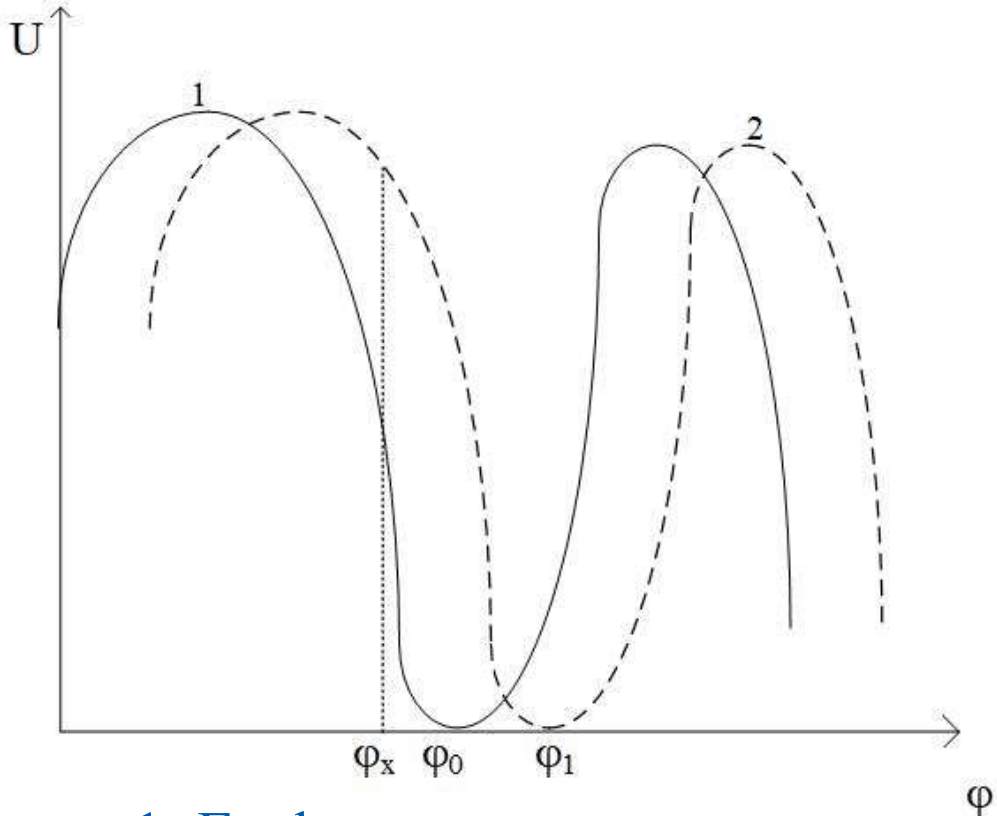


Рисунок 1- График зависимости энергии от угла в 2 положениях

Результаты исследования выявлены возможности:
1.Плавно перемещать вал двигателя с большой точностью
2.Снизить люфт в одном положении угла двигателя
3.Установить ограничение на критические, максимальные моменты, которые может развить двигатель
4.Меняя ток в катушках (и магнитное поле), можно задать скорость перемещения и получить конечное положение привода
Возникают потребности в исследованиях для реализации идеи:
1.Необходимо будет провести расчет нового типа двигателя с большим количеством независимых полюсов ротора и статора
2.Для управления необходимо будет создать драйвер контроля каждой катушки и методики расчета, программное обеспечение для компьютерной системы

Завалишинские чтения

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАМАКОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Автор: Колесова Анастасия Дмитриевна

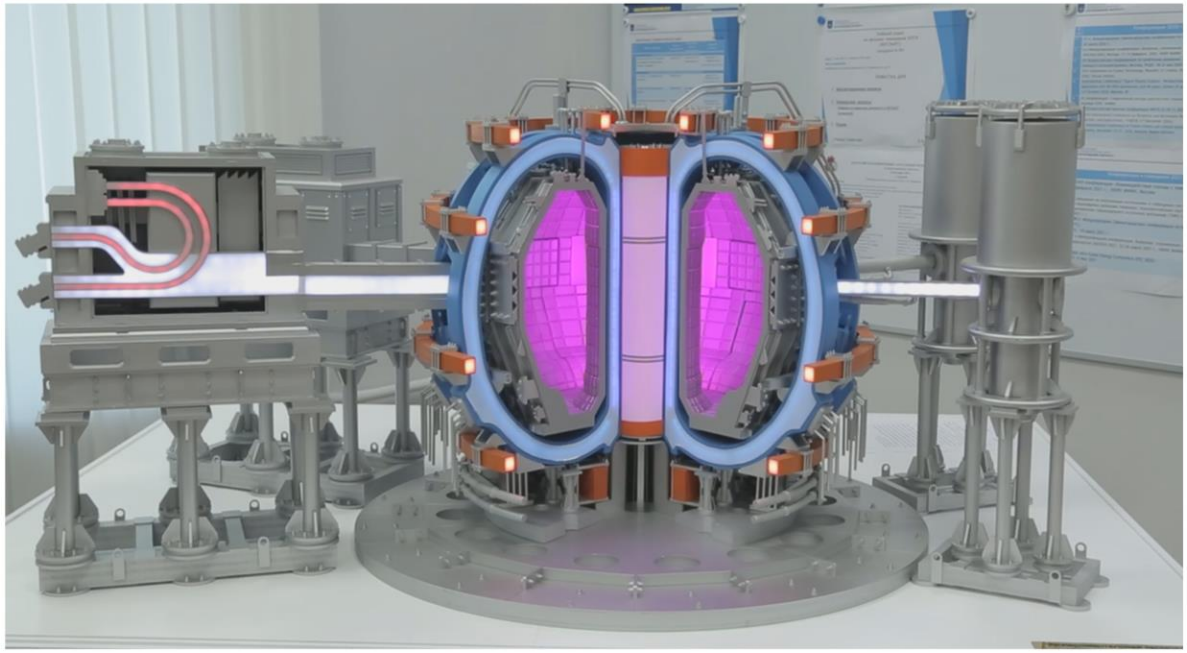
Организация: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Санкт-Петербург
2025 г

Цель исследования

Завалишинские чтения

Цель исследования заключается в проведении сравнительного анализа основных параметров электромагнитной системы выбранных токамаков. Исследование направлено на выявление оптимальных конфигураций и технологий, которые позволят максимально повысить производительность и надежность будущих термоядерных реакторов, способных стать надежным и экологически чистым источником энергии.



Токамак

Завалишинские чтения

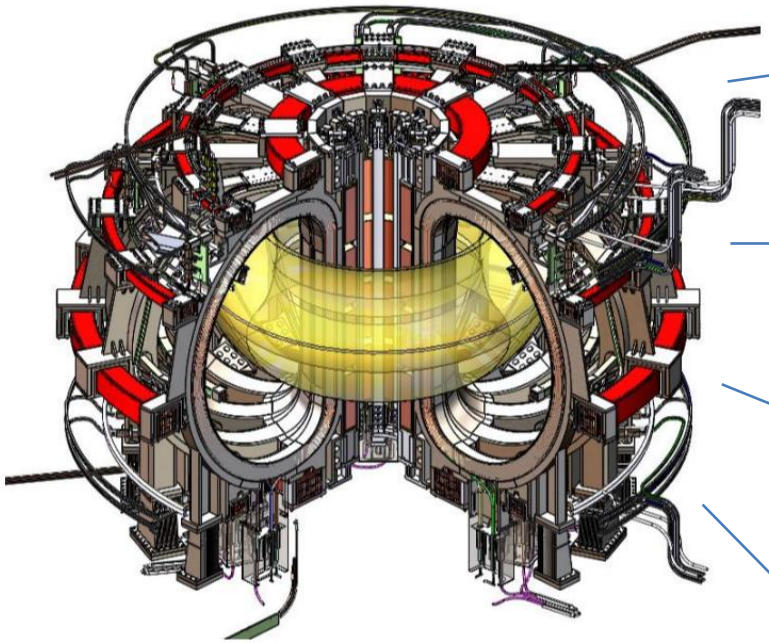
Термоядерная энергетика — это отрасль, основанная на процессе слияния лёгких ядер, который может производить большие объёмы энергии с минимальным воздействием на окружающую среду.

Термоядерный синтез вырабатывает в 4 раза больше энергии на килограмм топлива, чем деление, используемое на атомных электростанциях, и почти в 4 млн раз больше энергии, чем сжигание нефти или угля.

Токамак — это установка для удержания и управления плазмой с помощью магнитных полей, разработанная для проведения управляемого термоядерного синтеза. Название "токамак" происходит от слов "тороидальная камера с магнитными катушками". Основная идея заключается в создании условий, аналогичных тем, что существуют в ядрах звёзд, где при очень высоких температурах и давлении происходит слияние лёгких ядер, сопровождающееся выделением огромной энергии. Токамаки играют ключевую роль в исследованиях и разработке технологий для создания безопасных и эффективных термоядерных реакторов, которые могут стать будущим глобальной энергетики.

Основные системы токамака

Завалишинские чтения



ТРТ

- Вакуумная камера
- Магнитные катушки
- Система нагрева плазмы
- Системы диагностики и управления
- Криогенная система

Основные характеристики мировых установок типа токамак

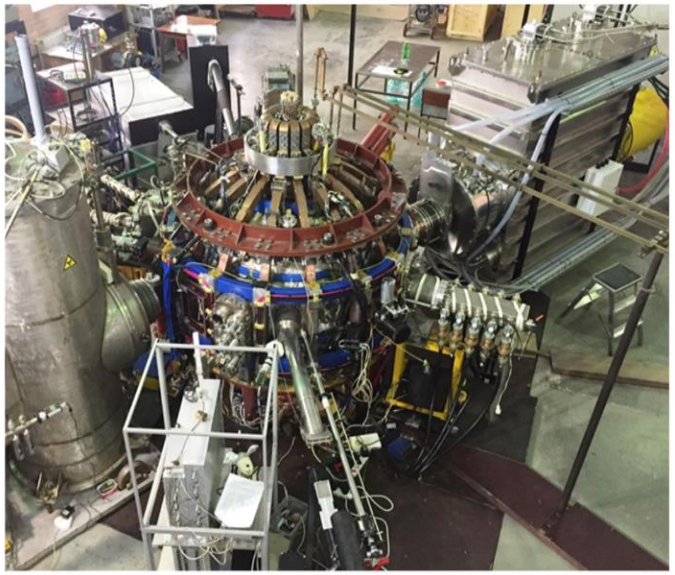
Завалишинские чтения

Название установки	Страна	Большой радиус плазмы, R (м)	Малый радиус плазмы, a (м)	Аспектное отношение, R/a	Тороидальное магнитное поле на оси плазмы, (Тл)	Ток плазмы, (МА)	Конфигурация по форме	Тип магнитной системы
ГЛОБУС-М2	РФ	0,36	0,24	1,5	1	0,5	Сферический	«Теплый»
Т-15 МД	РФ	1,48	0,67	2,2	2	2	D - образный	«Теплый»
Т-11М	РФ	0,7	0,2	3,5	1	0,1	D - образный	«Теплый»
ТРТ	РФ	2,15	0,57	3,77	8	5	D - образный	Сверхпроводящий (ВТСП)
КТМ	Казахстан	0,9	0,45	2	1	0,75	D - образный	«Теплый»
JT-60SA	Япония	3	1,18	2,5	2,7	5,5	D - образный	Сверхпроводящий (НТСП)
WEST	Франция	2,5	0,5	5	3,7	1	D - образный	«Теплый»
EAST	Китай	1,7	0,4	4,37	3,5	1	D - образный	Сверхпроводящий (НТСП)
KSTAR	Республика Корея	1,8	0,5	3,6	3,5	2	D - образный	Сверхпроводящий (НТСП)
JET	Великобритания	2,96	2,10/ 1,25	1,4/ 2,4	3,45	3,2-4,8	D - образный	«Теплый»
ST-40	Великобритания	0,5	0,3	1,7	3	2	Сферический	Сверхпроводящий (ВТСП)
ITER	Международ-ный проект	6,2	2	3,1	5,3	15	D - образный	Сверхпроводящий (НТСП)
SST-1	Индия	1,1	0,2	5,5	1,5	0,1	D - образный	Сверхпроводящий (НТСП)
DTT	Италия	2,19	0,7	3,2	6	5,5	D - образный	Сверхпроводящий (НТСП)
SPARC	США	1,85	0,57	3,1	12	8,7	D - образный	Сверхпроводящий (ВТСП)

ТОКАМАК. Россия/Казахстан

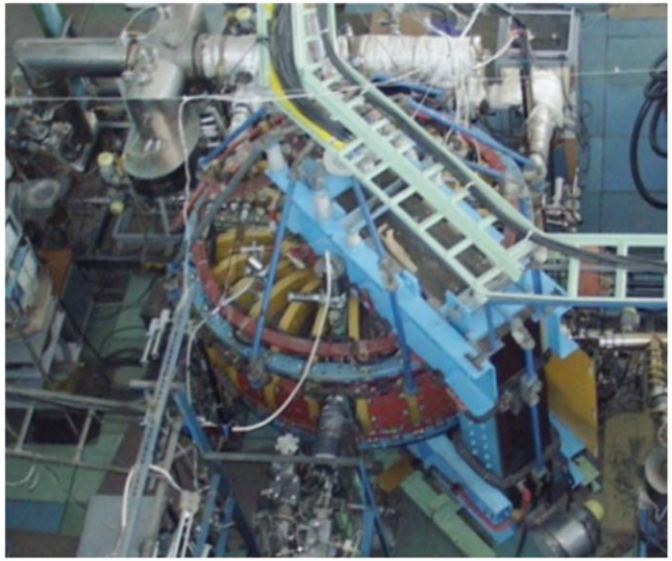
Завалишинские чтения

ГЛОБУС-М2



Т-15МД

Т-11М

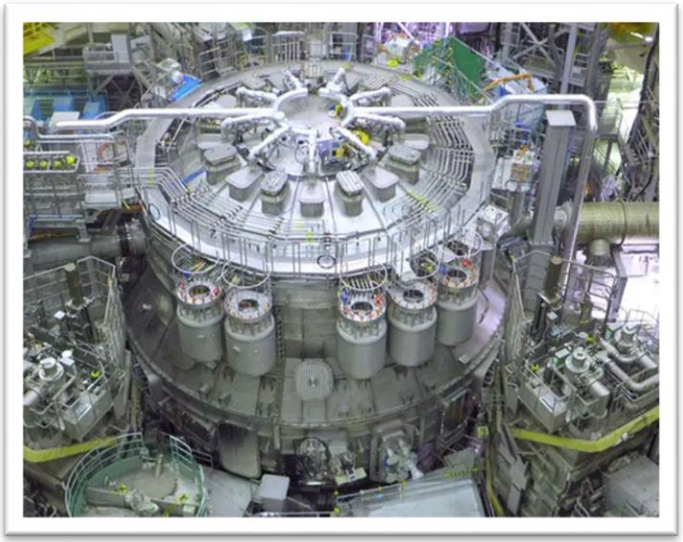


КТМ

ТОКАМАК. Азия

Завалишинские чтения

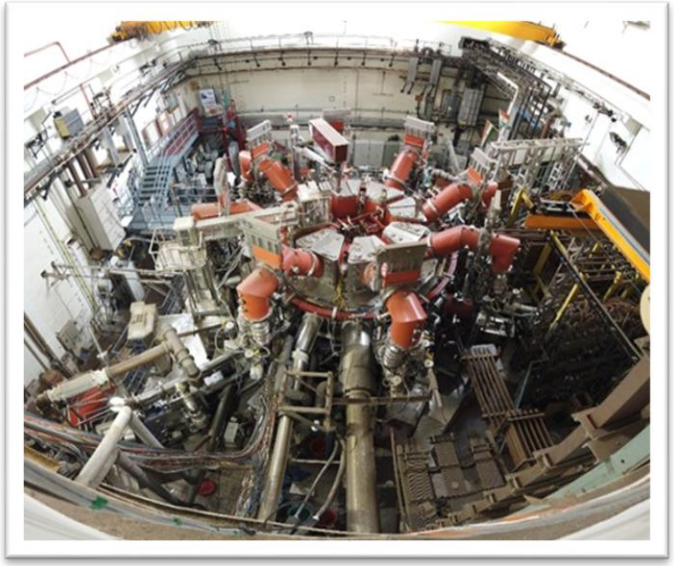
JT80-SA



EAST

KSTAR

SST-1

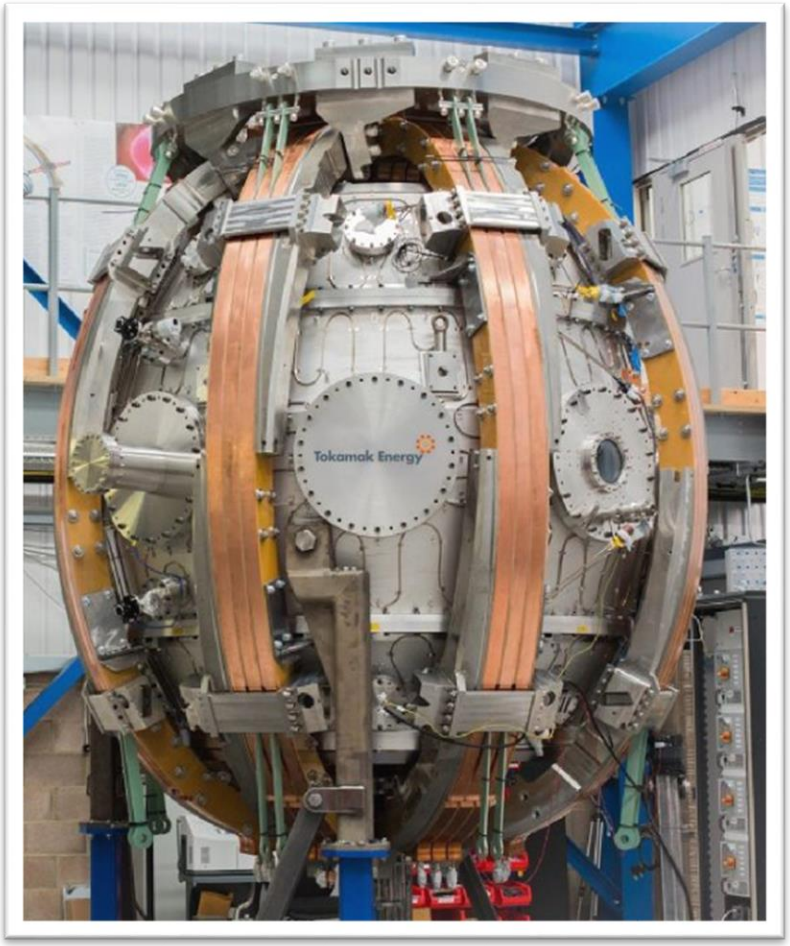


ТОКАМАК. Европа

Завалишинские чтения

WEST

JET

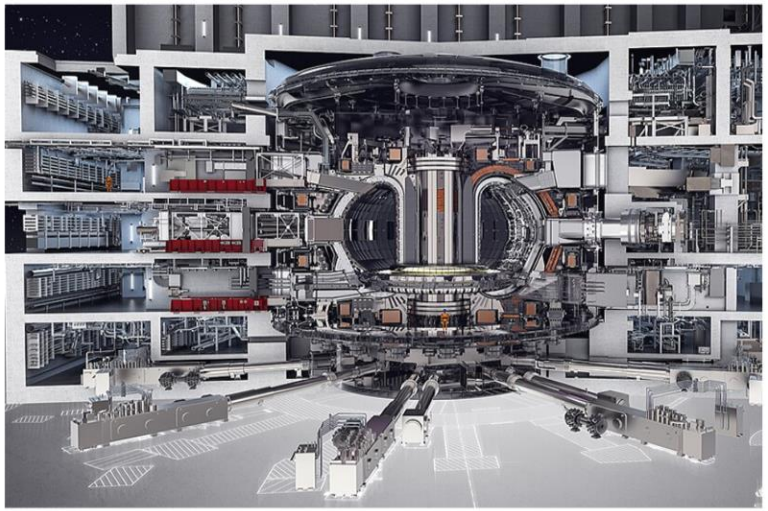


ST40

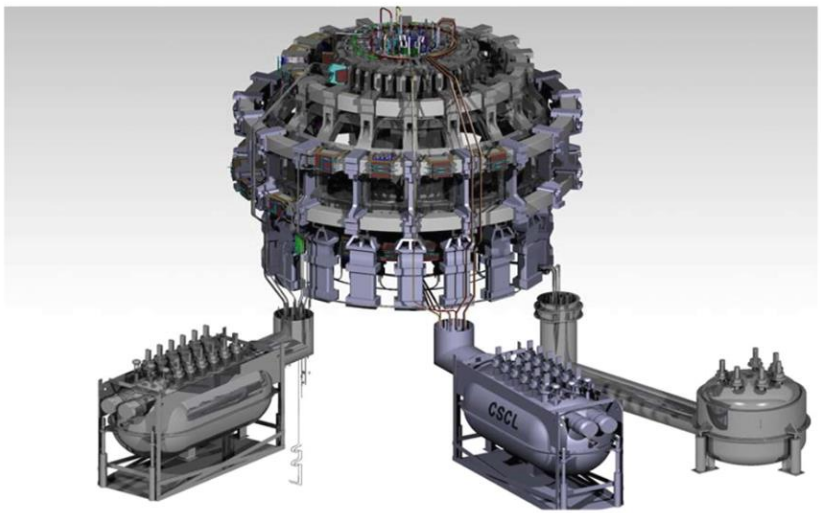
ТОКАМАК. Разработка/Строительство

Завалишинские чтения

ITER

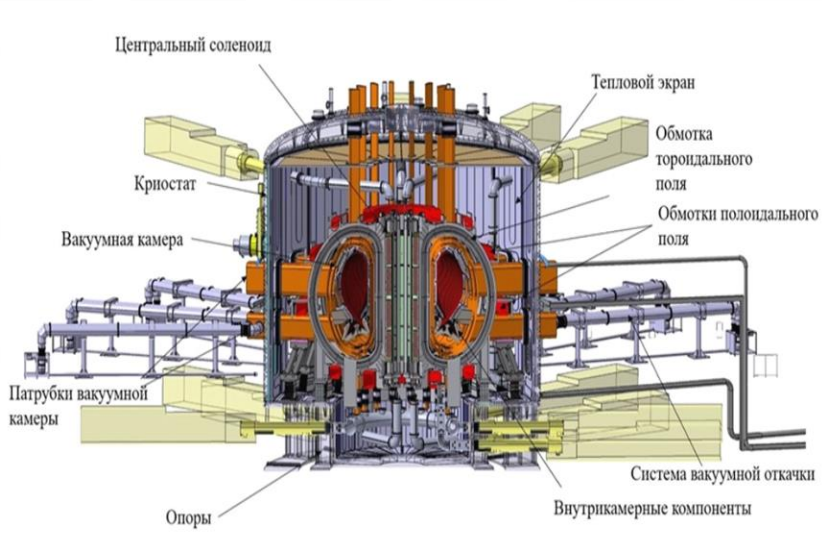


DDT



SPARC

TRT



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

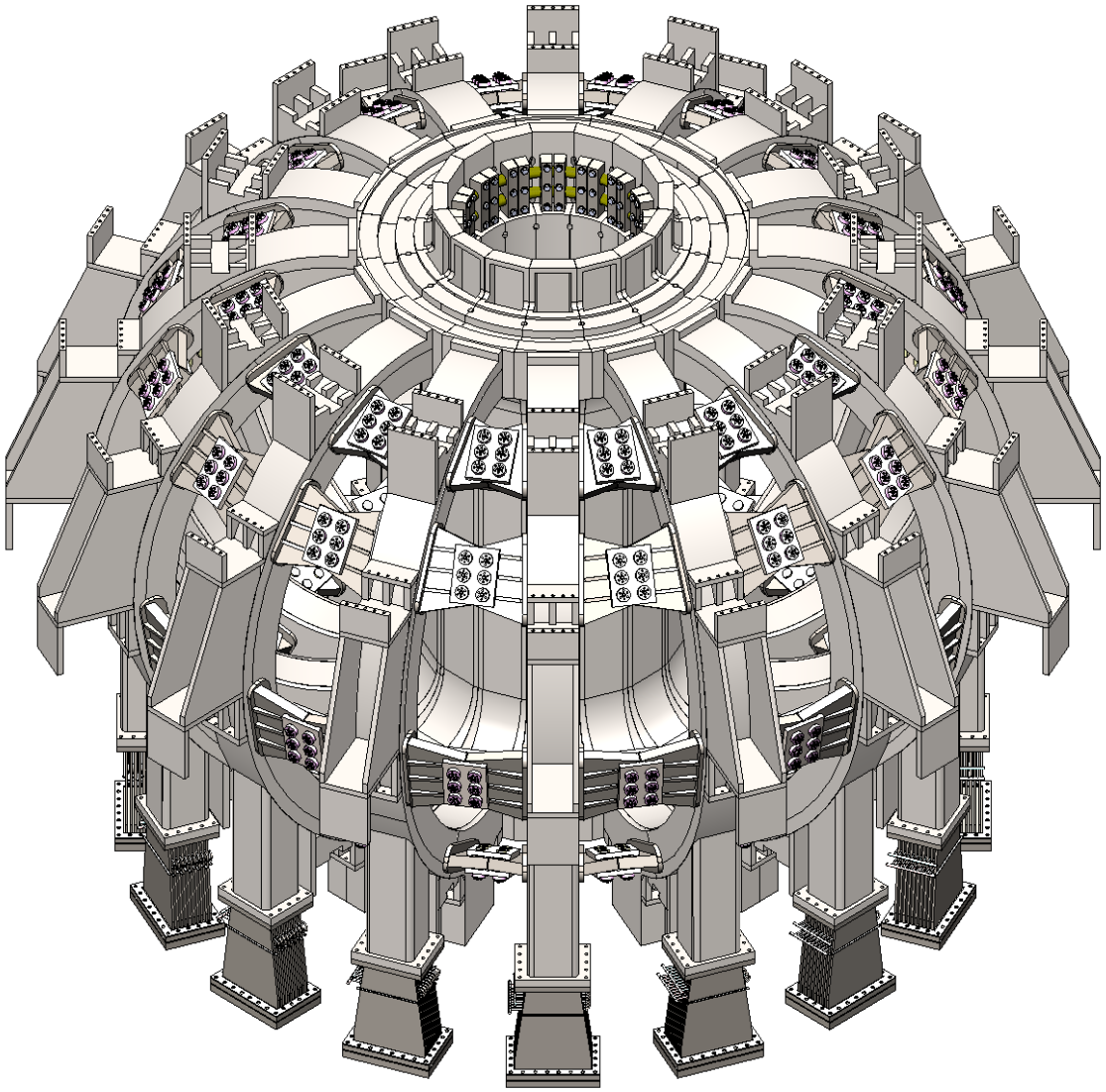
Исследование плазмы в токамаках эволюционировало от устройств с круглым сечением к установкам с вытянутым профилем плазмы, поскольку последние признаны более перспективными для термоядерных реакторов.

Важнейшим направлением стало применение сверхпроводящих технологий, начиная с низкотемпературных сверхпроводников и переходя к использованию высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), что значительно повышает эффективность и надежность термоядерных установок.

Внедрение ВТСП способствует снижению энергетических затрат, увеличению плотности тока и улучшению характеристик магнитных полей, что делает возможным создание более мощных и экономичных термоядерных реакторов будущего.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Завалишинские чтения



Завалишинские чтения

Конденсаторная ячейка для емкостного накопителя энергии с высокой частотой повторения импульсов

АО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова»
Медведев М.В., Фриман Б.Э., Еникеев Р.Ш., Крюков Ю.Л., Серебров Р.А., Нечаев Н.Е., Поддуев М.Е.

АО «ЭЛПРЕСС»
Хапугин А.А., Немаев Д.Ю., Мускатиньев В.Г.

15.04.2025

NIIEFA ROSATOM

Содержание

Завалишинские чтения

- Введение
- Параметры конденсаторной ячейки
- Секция конденсаторов
- Испытания секции конденсаторов
- Результаты испытаний конденсаторной секции
- Конденсаторы
- Полупроводниковые коммутаторы
- Схема конденсаторной ячейки
- Прототип конденсаторной ячейки
- Заключение

Введение

В настоящей статье описывается конденсаторная ячейка, предназначенная для работы в стационарном источнике импульсов тока, в котором реализованы оба указанных способа обеспечения работоспособности при высокой частоте следования импульсов:

- Источник должен генерировать импульсы тока, амплитудой до 300 килоампер с частотой повторения до 10 Гц. Он составлен из десяти конденсаторных батарей, которые разряжаются поочередно, каждая с частотой повторения импульсов f = 1 Гц.

- В конденсаторных ячейках каждой конденсаторной батареи выполнена система принудительного охлаждения, которая позволяет работать ячейкам с частотой повторения импульсов f = 1 Гц.

Параметры конденсаторной ячейки

Завалишинские чтения

Источник импульсов тока, в состав которого входит конденсаторная ячейка, предназначен для работы на дуговую нагрузку. Особенностью такой нагрузки является то, что падение напряжение на дуге может быть малым и режим разряда будет близок к режиму короткого замыкания. Поэтому конденсаторная ячейка должна быть рассчитана на длительную работу при коротком замыкании в нагрузке. При этом:

- Амплитуда импульса тока I_m = 120 кА ;
- Вся запасенная в конденсаторах энергия выделяется в разрядном контуре ячейки;

Таблица 1 - Параметры ячейки

Параметр	Символ	Значение	Комментарий
Максимальная запасенная энергия	W_1	36 кДж	
Емкость	C	2 мФ	
Максимальное зарядное напряжение в режиме одиночного импульсного разряда	$U_{0,m}$	6 кВ	
Максимальное зарядное напряжение в режиме повторного разряда	U_0	5 кВ	
Максимальный ток в режиме короткого замыкания	I_m	120 кА	U_0 = 5 кВ
Длина кабельной линии, соединяющей ячейку с нагрузкой	l	25 м	
Индуктивность разрядной цепи	$L \approx \frac{0,8^2 C U_0^2}{I_m^2}$	2.22 мкГн	Включая кабельную линию
Продолжительность непрерывной работы	t_w	20 мин	
Продолжительность рабочей паузы	t_p	4 часа	

Секция конденсаторов

- В ячейке применяются конденсаторы, разработанные и изготовленные компанией ELCOD Limited, Санкт-Петербург.
- К конденсаторам для частотного режима предъявляются требования малой индуктивности и малой величины tgδ .

Рисунок 1 - Секция конденсатора

Таблица 2 - Параметры конденсаторной секции

Параметр	Символ	Значение
Максимальное напряжение	$U_{0,m}$	6 кВ
Емкость	C_s	16,7 мкФ
Коэффициент потерь на частоте f = 100 Гц	$tg\delta$	0,0016
Эквивалентное сопротивление в последовательной схеме замещения	$R_s = \frac{tg\delta}{2\pi f C_s}$	0,153 Ом

Испытания секции конденсаторов С1

- Для проверки нагрева будущих конденсаторов в частотном режиме были изготовлены и испытаны секции конденсаторов, составляющие 1/60 часть реального конденсатора

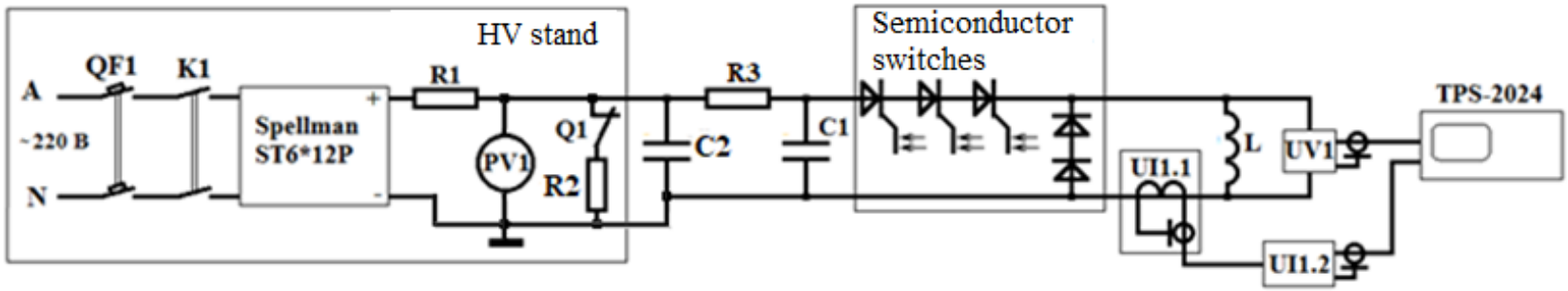


Рисунок 2 - Испытания секции конденсатора С1

Результаты испытаний конденсаторной секции

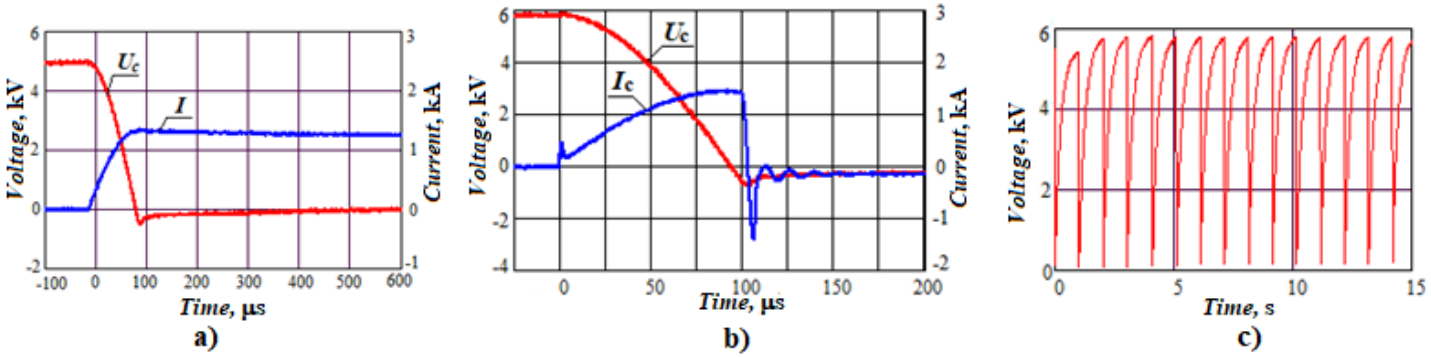


Рисунок 3 - Осциллограммы испытаний конденсаторной секции.
U_c - напряжения конденсатора (красный), I - выходной ток (синий), I_c – ток конденсатора.

Интеграл действия импульса тока в конденсаторной секциих: $J_c = \int_0^{t_p} I_c^2 dt = 124{,}5\ \mathrm{A}^2 c$ (рисунок 3, b)

Мощность тепловыделения в конденсаторной секции: $N_c = J_c R_s f = 19\ \mathrm{W}.$

При тестировании нагрев конденсаторных секций, после 1200 импульсов с темпом 1 с, не превышал 1,5°C.

Было испытано 2 секции 16,7 μF в объеме 14000 импульсов каждая. После испытаний значимых изменений емкости и tgδ не обнаружено. Подобные конденсаторные секции были применены в конденсаторах, изготовленных для конденсаторных ячеек.

Конденсатор

В состав конденсаторной ячейки входит два конденсатора, параметры которых указаны в таблице 3. Каждый конденсатор имеет две составные части; у каждой части два резьбовых высоковольтных вывода.

Рисунок 4 - Конденсатор К75-88-6 kV-1000 мкФ ±10%

Таблица 3 - Параметры конденсаторов К75-88-6 kV-1000 мкФ ±10%

Параметр	Символ	Значение
Номинальное напряжение зарядки	U_0	6 кВ
Испытательное напряжение зарядки	U_{test}	6,5 кВ
Емкость	C	1 мкФ ±10%
Тангенс угла потерь на частоте f = 100 Гц, не менее	$tg\delta$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$
Амплитуда импульса разрядного тока, не более	I_m	60 кА
Интеграл действия импульса тока	$J_c = \int_0^{t_p} I_c^2 dt$	$0{,}28 \cdot 10^6$ $А^{2}с$
Ресурс (количество импульсов), не менее		10^6 импульсов
Габаритные размеры (длина × ширина × высота)		420 × 270 × 440 мм
Масса		50 кг

Полупроводниковые коммутаторы

Завалишинские чтения

Полупроводниковые коммутаторы разработаны и изготовлены на Саранском заводе «Электровыпрямитель».

Были выбраны коммутаторы на основе реверсивно-включаемых динисторов (РВД)

В частотном режиме работы в полупроводниковых приборах выделяется достаточно много тепла. Для отбора этого тепла в блоке коммутаторов применены жидкостные охладители.

Рисунок 5 – Блок РВД и блокирующие диоды

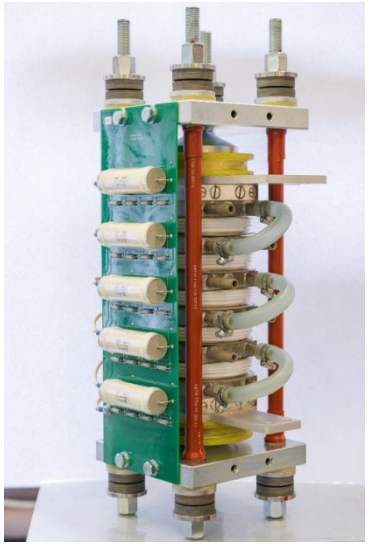


Рисунок 6 – Сборка кроубарных диодов

Генератор запуска и дроссель насыщения

Завалишинские чтения

Для запуска РВД необходимо генерировать импульс напряжения амплитудой не меньше, чем 7кВ.

Этот генератор также собран на РВД.

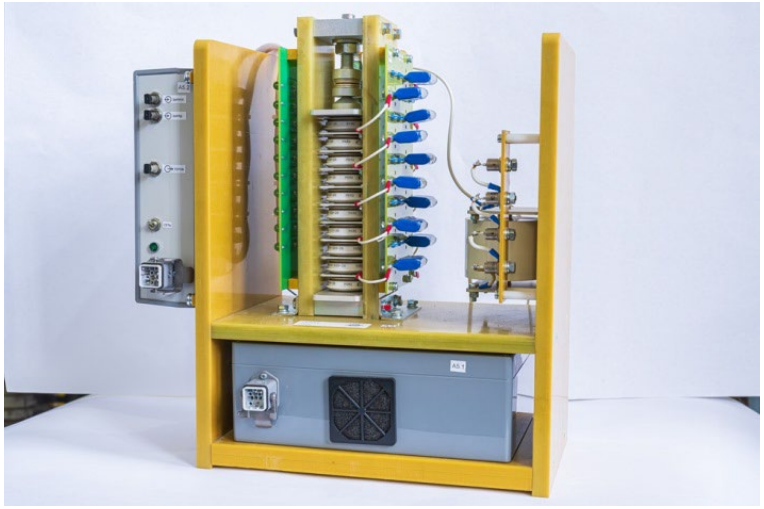


Рисунок 7 - Генератор запуска

Рисунок 8 - Дроссель насыщения

Для того, чтобы исключить шунтирование запускающего импульса необходимо в разрядном контуре иметь дроссель насыщения L1.

Дроссель имеет один виток - медный стержень внутри массивного магнитопровода, сделанного из аморфного нанокристаллического сплава. Перемагничивание магнитопровода обеспечивается зарядным током ячейки.

Схема конденсаторной ячейки

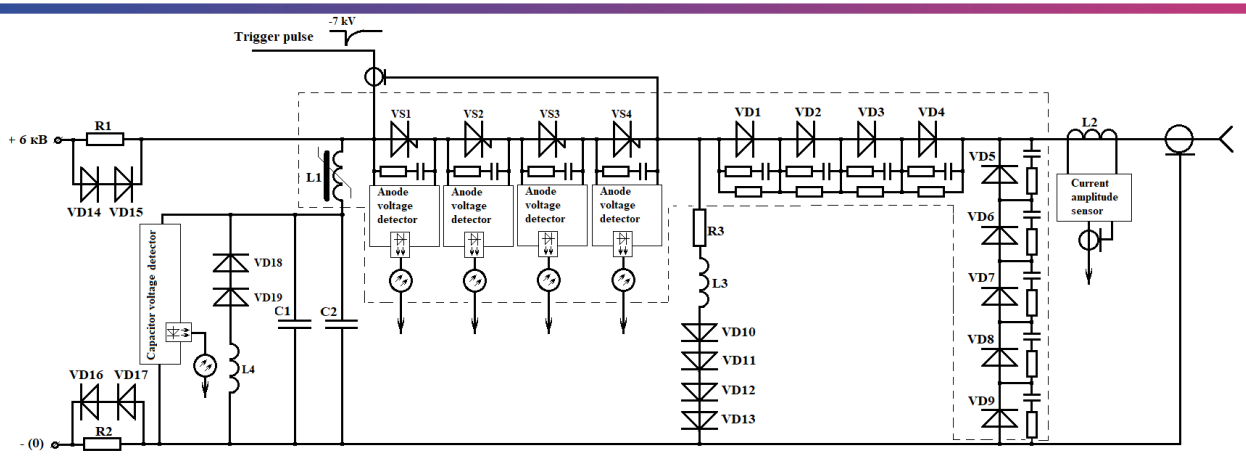


Рисунок 9 - Схема конденсаторной ячейки

Таблица 4 - Элементы схемы конденсаторной ячейки

Символ	Name Обозначение	Кол-во	Комментарий
C1, C2	Конденсатор К75-88-6 kV-1000μF≤10%	2	
L2	Катушка Роговского датчика амплитуды тока	1	
L3	Катушка цепи гарантированного разряда	1	
L4	Катушка цепи рекуперации	1	
R1, R2	Балластные резисторы	2	
R3	Резистор цепи гарантированного разряда	1	
VD10 – VD13	Диоды цепи гарантированного разряда	4	
VD14 – VD17	Шунтирующие диоды	4	
VD18, VD19	Диоды схемы рекуперации	2	
Блок полупроводникового коммутатора (ограничен штриховой линией)			
L1	Дроссель насыщения	1	
VS1 – VS4	РВД ключи, РВД373-250-20	4	
VD1 – VD4	Блокирующие диоды, ДЛИ273-5000-20	4	
VD5 – VD9	Кроубарные диоды, ДЛ193-8000-20	5	
	Радиатор жидкостного охлаждения ОМ107	9	Для VS1–VS4, VD1-VD4
	Радиатор жидкостного охлаждения ОМ109	6	Для VD5-VD9

Схема конденсаторной ячейки

Завалишинские чтения

Работа с высокой частотой повторения импульсов требует применения в конденсаторной ячейке аппаратных средств автоматической диагностики. Эти средства следующие:

- **Датчик амплитуды разрядного тока.** Состоит из катушки Роговского L2, охватывающую выходную шину ячейки, и блока амплитудного детектора. После импульса разрядного тока на выводах амплитудного детектора появляется сигнал – напряжение, пропорциональное амплитуде импульса разрядного тока, который считывается цифро-аналоговым преобразователем ПЛК и позволяет системе управления проверить функционирование ячейки.
- **Детектор напряжения конденсатора.** Подключен параллельно импульсным конденсаторам С1 и С2. При заряде и достижении на конденсаторах заданного порогового напряжения, детектор напряжения конденсатора вырабатывает оптический логический сигнал, который поступает на вход ПЛК и свидетельствует о нормальном завершении процесса заряда конденсаторов. У детектора напряжения конденсатора имеется 4-х разрядный переключатель, с помощью которого устанавливается значение заданного порогового напряжения.
- **Четыре детектора анодного напряжения.** Подключены параллельно каждому РВД в сборке блока полупроводникового коммутатора. Функции и устройство этих детекторов аналогичны детектору напряжения конденсатора, но диапазон напряжения в четыре раза меньше. Детекторы анодного напряжения позволяют системе управления ЕНЭ контролировать исправность РВД.

Прототип конденсаторной ячейки

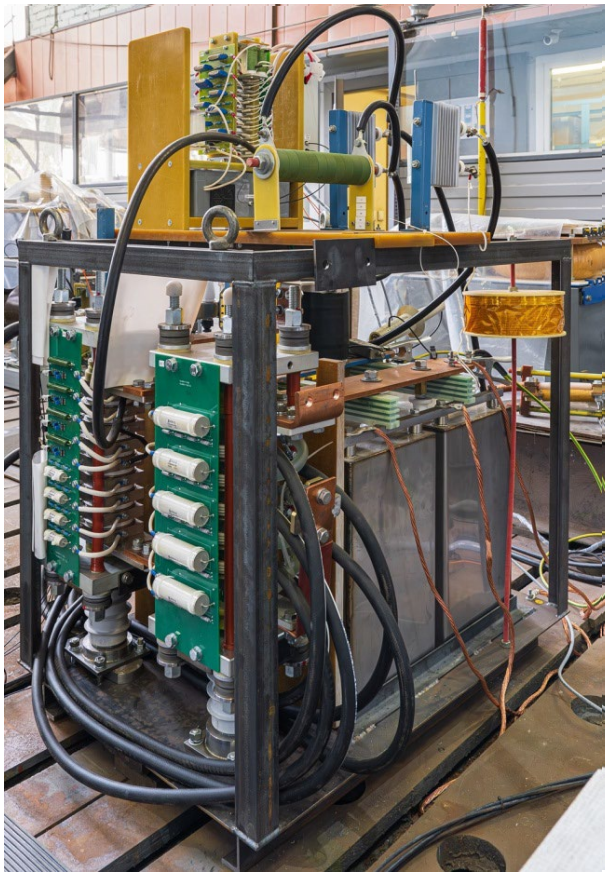


Рисунок 10 - Прототип конденсаторной ячейки

Прототип конденсаторной ячейки был изготовлен, налажен и испытан. Прототип испытан с частотой повторения импульсов 0,16 Гц.

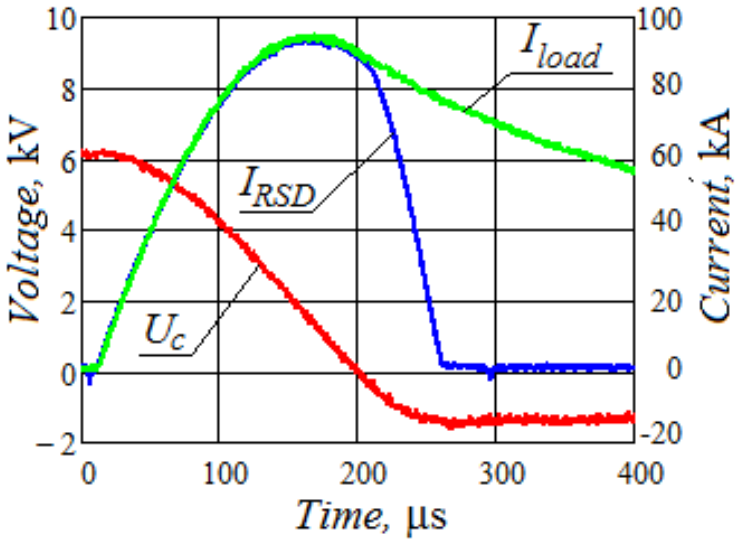


Рисунок 10 - Напряжение на конденсаторах Uc, ток в РВД и полный ток I_{load} при разряде ячейки конденсатора. Полная индуктивность разрядной цепи 44,45 мкГн.

Заключение

Завалишинские чтения

- Разработана конденсаторная ячейка 36 кДж, 6 кВ, предназначенная для работы с частотой повторения импульсов 1 Гц.
- Блок коммутаторов этой ячейки состоит из РВД, блокирующих и кроубарных диодов.
- Прототип конденсаторной ячейки собран и проходит в настоящее время испытания.

Спасибо за внимание!

Медведев Максим Валерьевич

АО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова»

E-mail: medvedev@sintez.niiefa.spb.su

NIIEFA ROSATOM

15.04.2025

Когенерационная ветроэнергоэлектростанция

Чубраева Л.И.
Заведующая отделением электроэнергетики
Институт электрофизики и электроэнергетики РАН
Санкт-Петербург

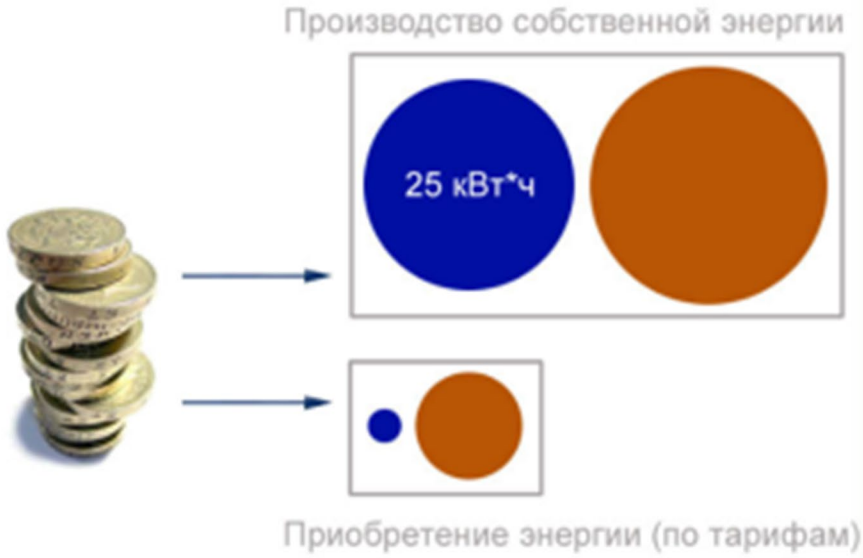
Когенерационный комплекс: сочетание ветроэнергетической и теплонасосной устновки

- Предлагается оригинальное техническое решение, позволяющее превратить ветроэлектростанцию в когенерационную мини-ТЭЦ, вырабатывающую одновременно электрическую и тепловую энергию
- Электрическая мощность - 1 МВт
- Тепловая мощность – 90-100 кВт

Экономический эффект от производства электрической и тепловой энергии на электростанциях небольшой мощности

Мини-ТЭЦ (мини-теплоэлектроцентраль) – малая тепловая электростанция (до 50МВт), вырабатывает одновременно электрическую и тепловую энергию

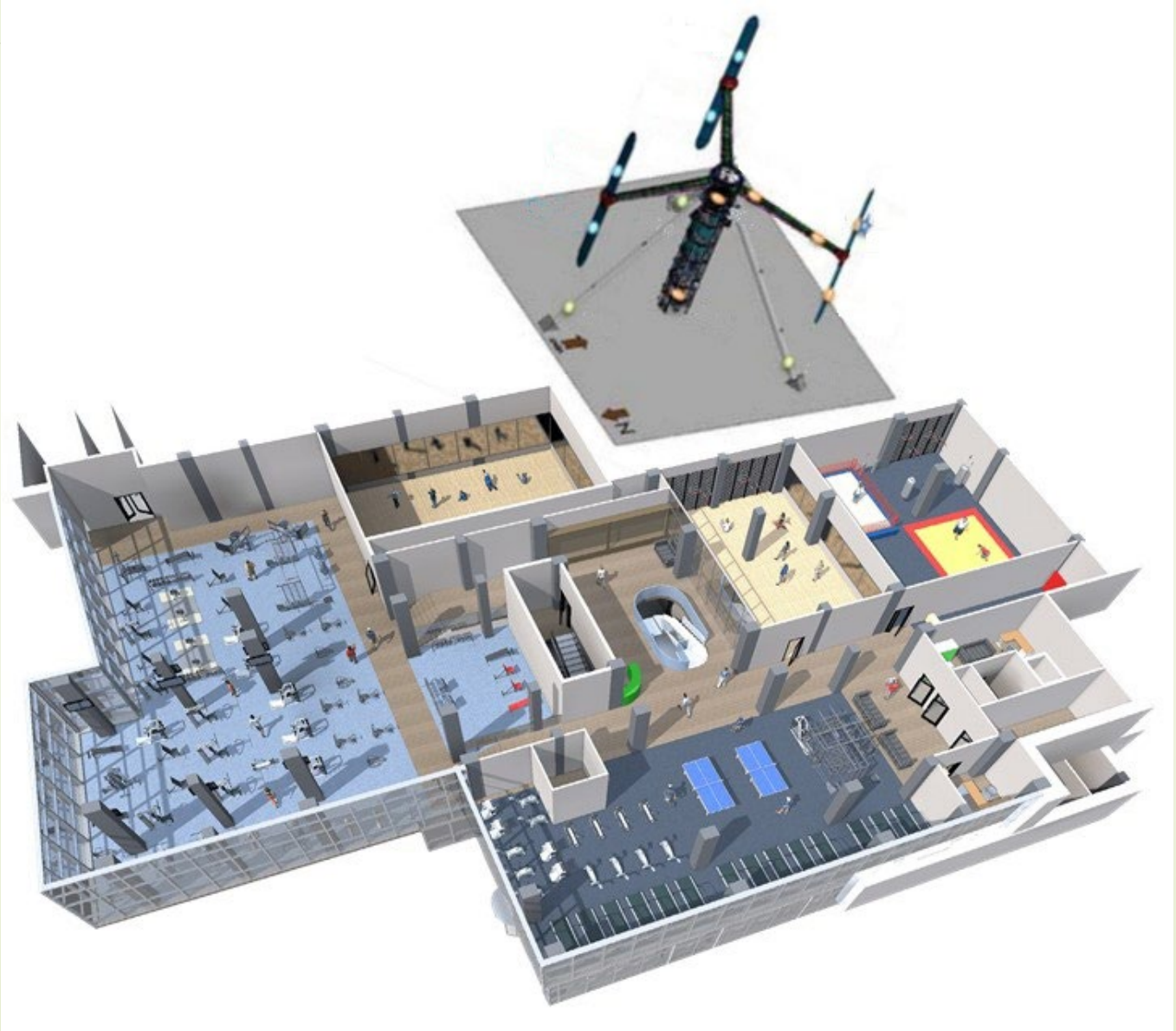
Мини-ТЭЦ – это практически воплощение двух технологий: когенерации и малой энергетики. Мини-ТЭЦ ставится непосредственно возле потребителя и производит энергию в высокоэффективном режиме когенерации



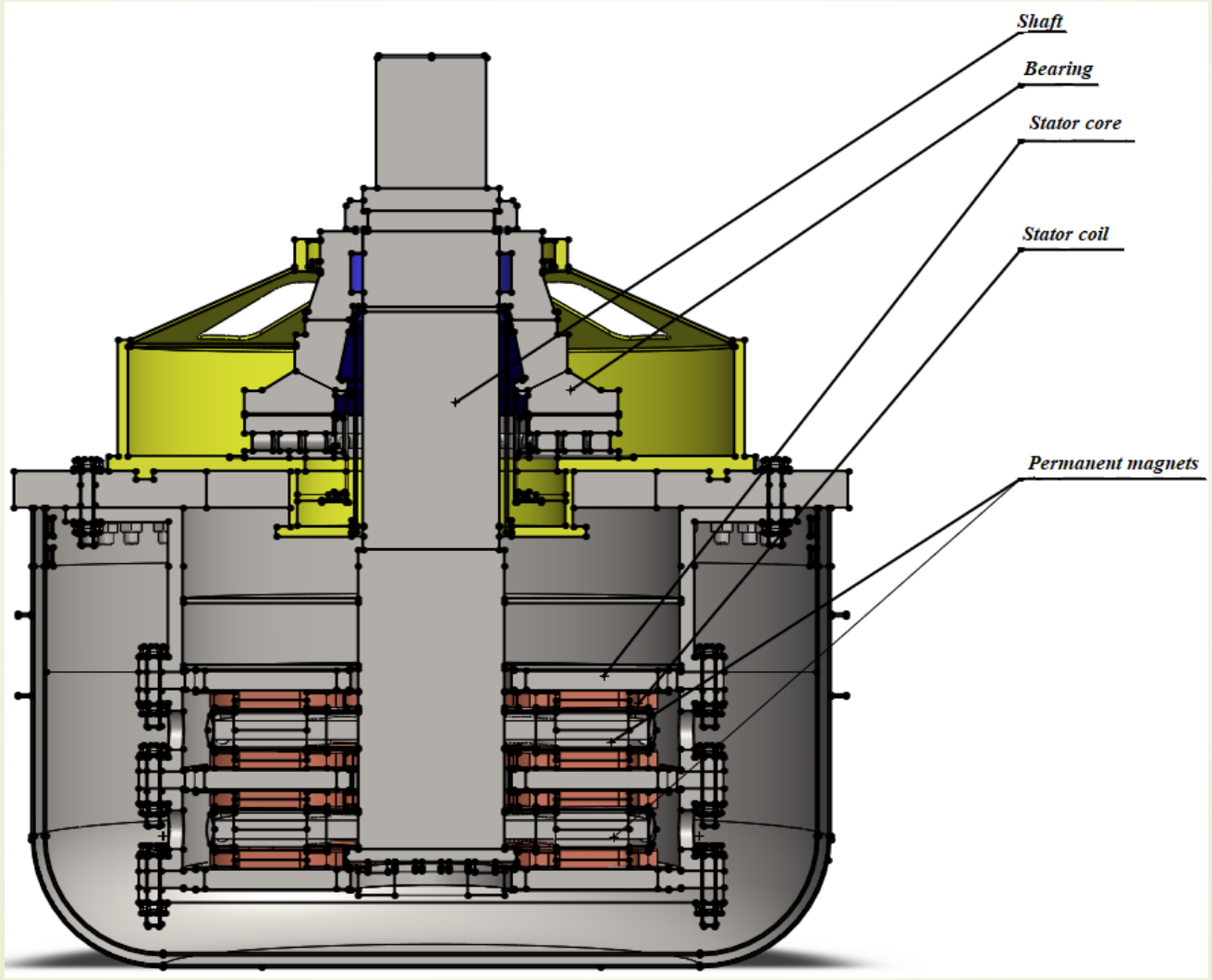
Преимущества использования когенерационного комплекса

- Когенерация представляет собой процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии. Когенерационные установки широко используются в малой энергетике (например, мини-ТЭЦ), обеспечивая следующие преимущества: тепло используется непосредственно в месте получения, что обходится достаточно дешево; потребитель приобретает энергетическую независимость.
- Когенерационная установка - это решение, позволяющее использовать тепло от работы ветрогенератора, которое иначе просто выбрасывается в воздух.

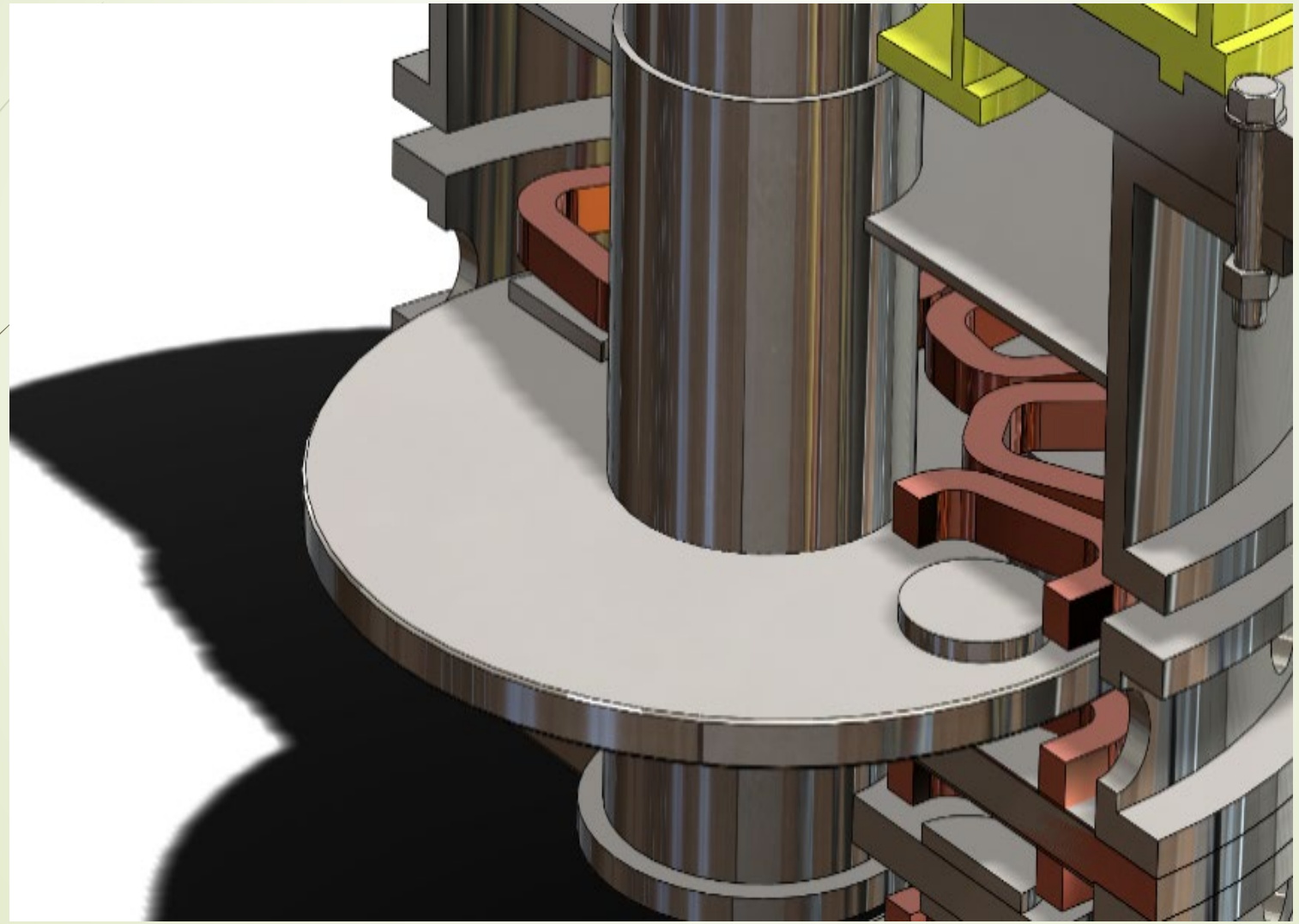
Общий вид спортивного комплекса



Общий вид генератора 1 МВт



Активная часть генератора 1 МВт



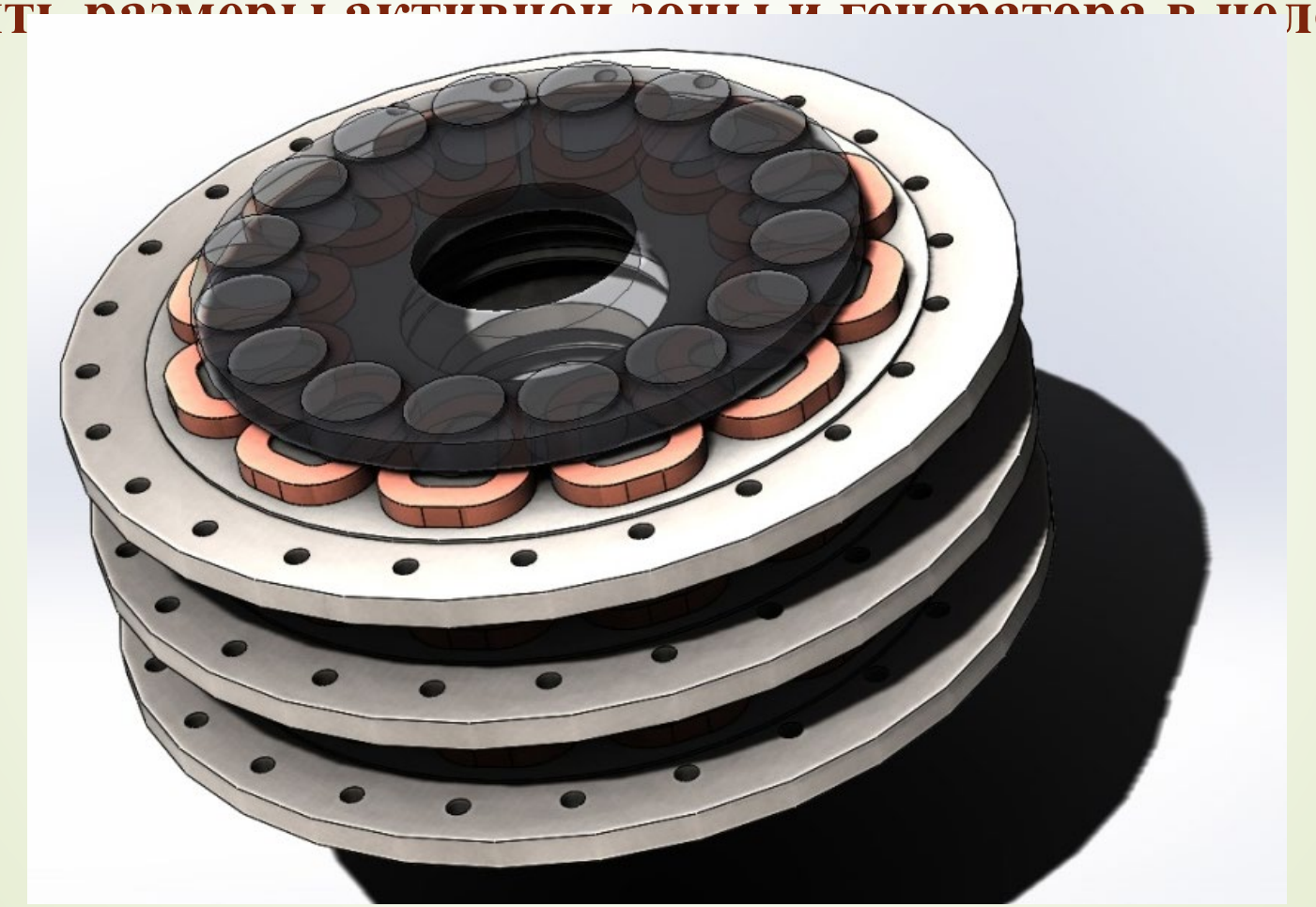
Достоинства фреонов

Фреоны (хладоны) представляют собой фторсодержащие насыщенные углеводороды. Для хладонов характерна хорошая совместимость с большинством материалов, применяемых в электротехнических изделиях. Кроме того, они отличаются уникальными теплофизическими характеристиками и способны обеспечивать гораздо более эффективный отвод тепла от охлаждаемых элементов, чем трансформаторные масла и кремнийорганические жидкости. Другим важным преимуществом фреонов являются их полная негорючесть и высокая дугостойкость.

Основные электрофизические показатели R113 и трансфрматорного масла

Параметр	Фреон-113	Трансформаторное масло
Плотность, кг/м^3	1576 при 20^{0}C	895 при 20^{0}C
Температура кипения, ^{0}C	47,6	-
Теплопроводность, Вт/(м·^{0}C)	0,07	0,12
Кинематическая вязкость, 10^{-6}, м^2/с	0,43	9
Пробивное напряжение при 50 Гц и 25^{0}C, кВ	31	70
tg δ, при 100 Гц и 25^{0}C	0,0001	0,005
ρ при 25^{0}C, Ом·м	10^{14}	10^{10}-10^{11} при 90^{0}C

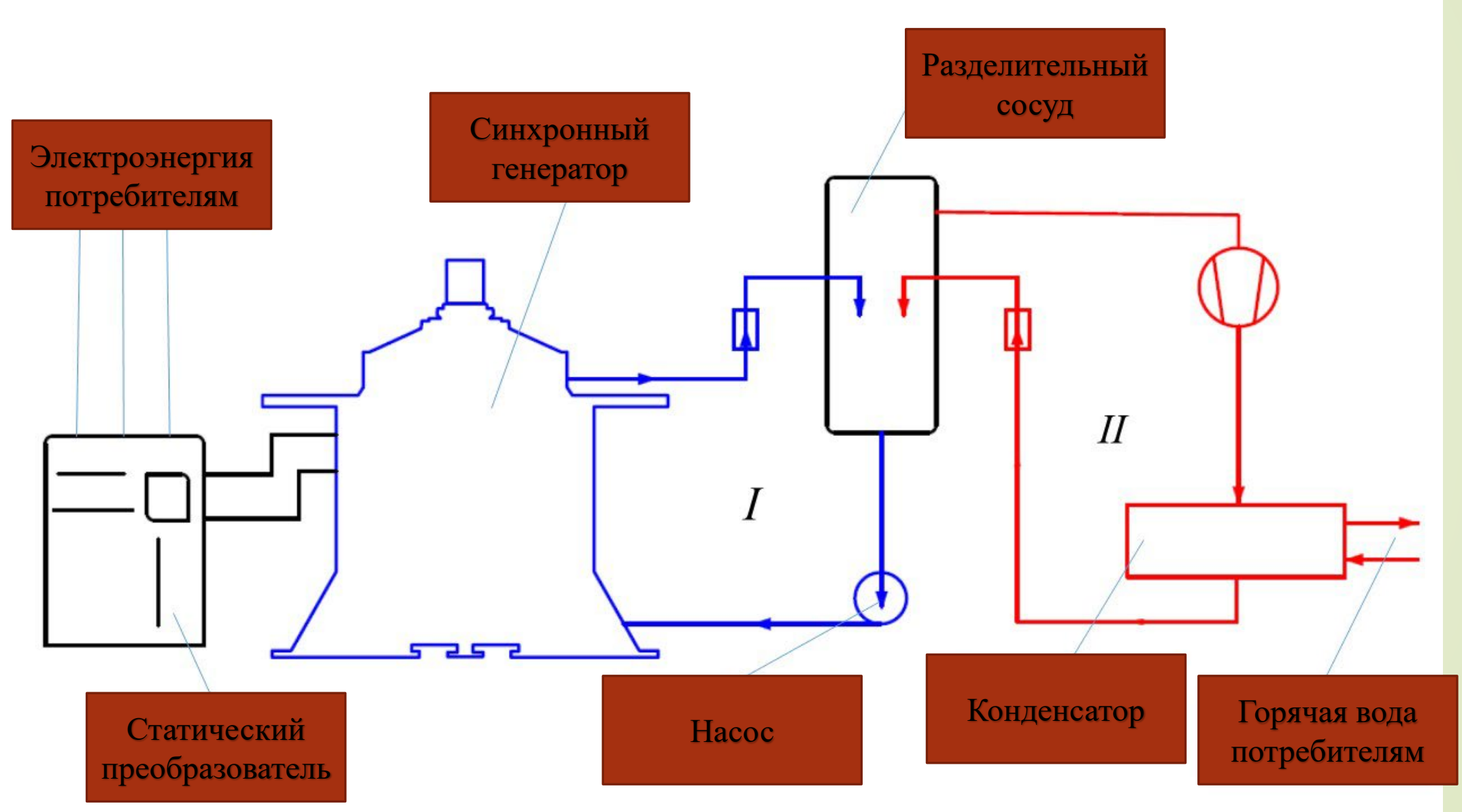
Электроизоляционная жидкость позволяет уменьшить толщину электрической изоляции обмотки статора, снизить размеры активной зоны и генератора в целом



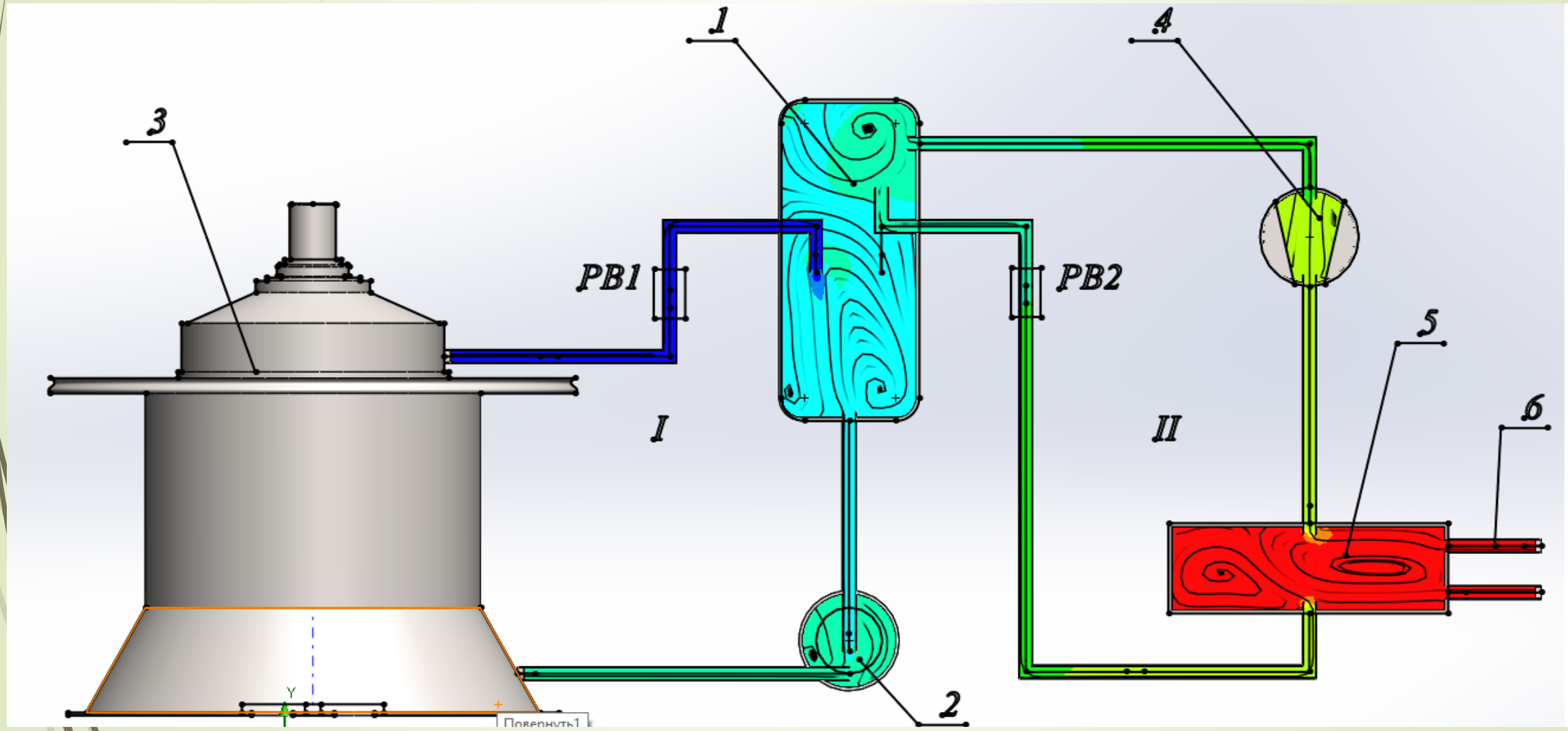
Потери генератора, приводящие к нагреву хладона

- Омические потери в обмотке статора
- Добавочные потери в обмотке статора
- Поверхностные потери в постоянных магнитах ротора
- Потери в ферромагнитных экранах статора
- Потери в конструктивных элементах
- Потери на трение дисков ротора

Принципиальная схема предлагаемой системы охлаждения



Моделирование процесса работы системы охлаждения



Основные этапы работы теплового насоса

- В осуществляемой системе охлаждения тепловые потери генератора отводятся к жидкому хладагенту R113. Нагретая жидкость дросселируется в регулирующем вентиле РВ1 и поступает в сосуд 1, где происходит разделение жидкости и образовавшегося при дросселировании пара.
- Паровая фаза отводится к компрессору 4 и после сжатия конденсируется в конденсаторе 5 с отдачей теплоты на более высоком температурном уровне. Сжиженный хладагент дросселируется в вентиле РВ2 и поступает в разделительный сосуд 1.
- В конденсаторе 5 теплота передается воде, нагретая вода поступает к потребителю.

В чем особенность данного решения

Достоинством рассматриваемой системы является использование одной жидкости – хладона – как в контуре охлаждения генератора, так и в контуре теплового насоса. На входе хладона в генератор и на выходе из генератора устанавливаются специальные фильтры.

Высокие диэлектрические свойства хладона позволяют существенно упростить электрическую изоляцию и снизить габариты генератора.

Особенности циркуляции хладона внутри генератора

- Жидкий хладон из сосуда 1 подается к статору специальным фреоновым насосом. Давление жидкости в корпусе генератора поднимается по сравнению с уровнем давления в сосуде 1 на величину, необходимую для отвода теплоты от генератора нагреванием жидкого хладона без его испарения внутри генератора.
- Система уплотнений генератора рассчитана на давление до 4 атм.

Эффективность работы системы

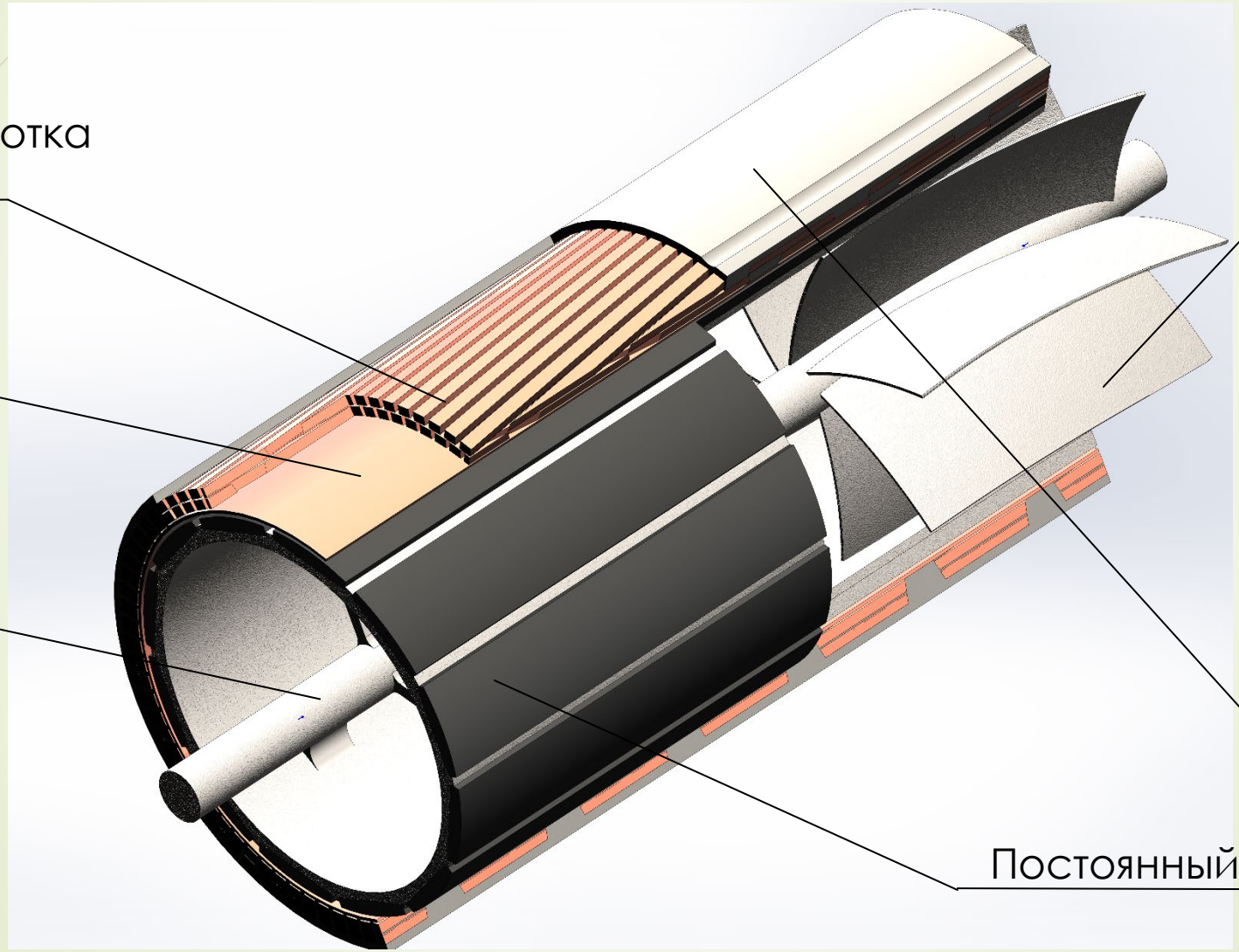
Расчет по формулам для оценки эффективности теплового насоса дает следующие результаты:

$$P = 1000\,кВт, \eta = 0.91, \varphi = \bar{G} 5.0, \tau = 5000\,ч, k_{ТНУ} = 1.7,$$

$$\Delta\bar{G} = 0.47\,(47\%), \Delta G = 49\,т.у.т.$$

экономия условного топлива составляет 49 т, что эквивалентно повышению КПД генератора на 2.5 %. При этом уровень потерь, равный 90 кВт, достаточен, с учетом КПД теплового насоса, для подогрева воды в бассейне.

Модель генератора с постоянными магнитами, устанавливаемого на сливном трубопроводе системы



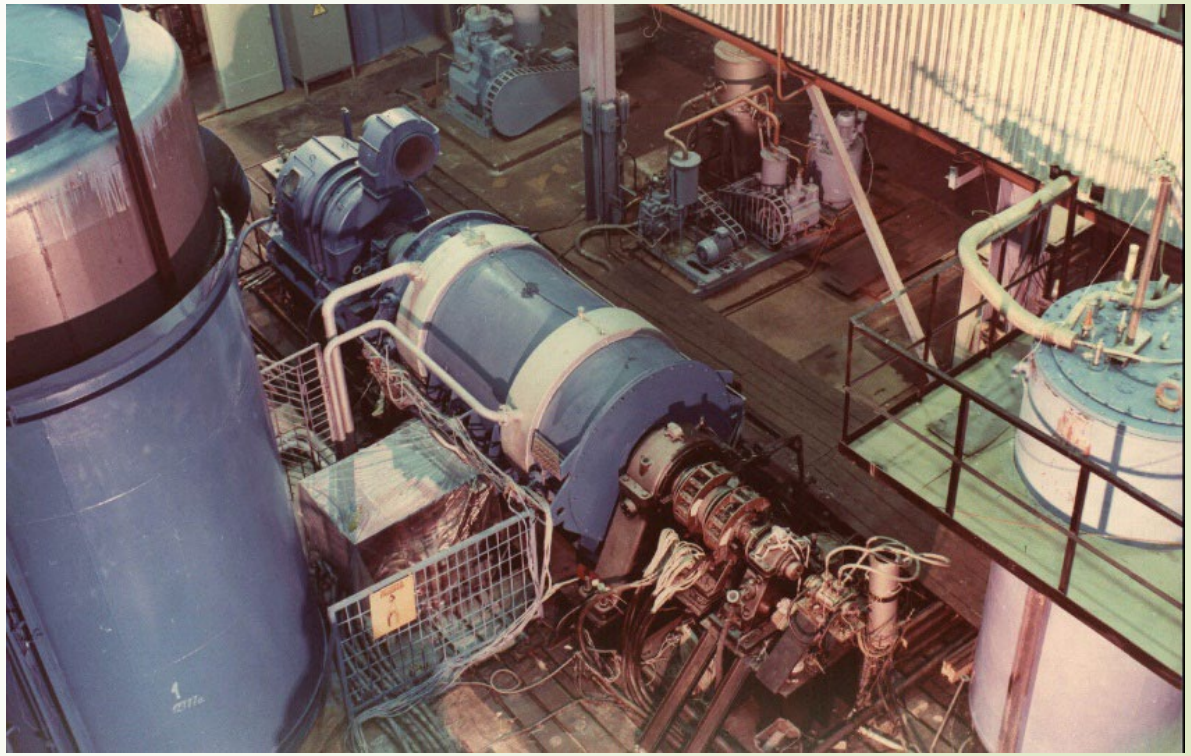
В составе ветроустановки всегда присутствует полупроводниковый преобразователь

Потери в полупроводниковом преобразователе также могут отводиться с помощью фреона

- Для повышения эффективности работы полупроводникового преобразователя целесообразно использовать охлаждение полупроводниковых приборов хладоном R113 (или неозоноактивным аналогом)
- В этом случае хладон будет дополнительно нагреваться, а эффективность использования теплового насоса – улучшаться.

- Идея объединения электрического генератора и теплонасосной установки принадлежит профессору Льву Марковичу Розенфельду и впервые была реализована на стенде сверхпроводникового генератора мощностью 20 МВА для охлаждения статора этой машины.
- Вырабатываемое тепло использовалось для снабжения корпуса, в котором размещался генератор, горячей водой.

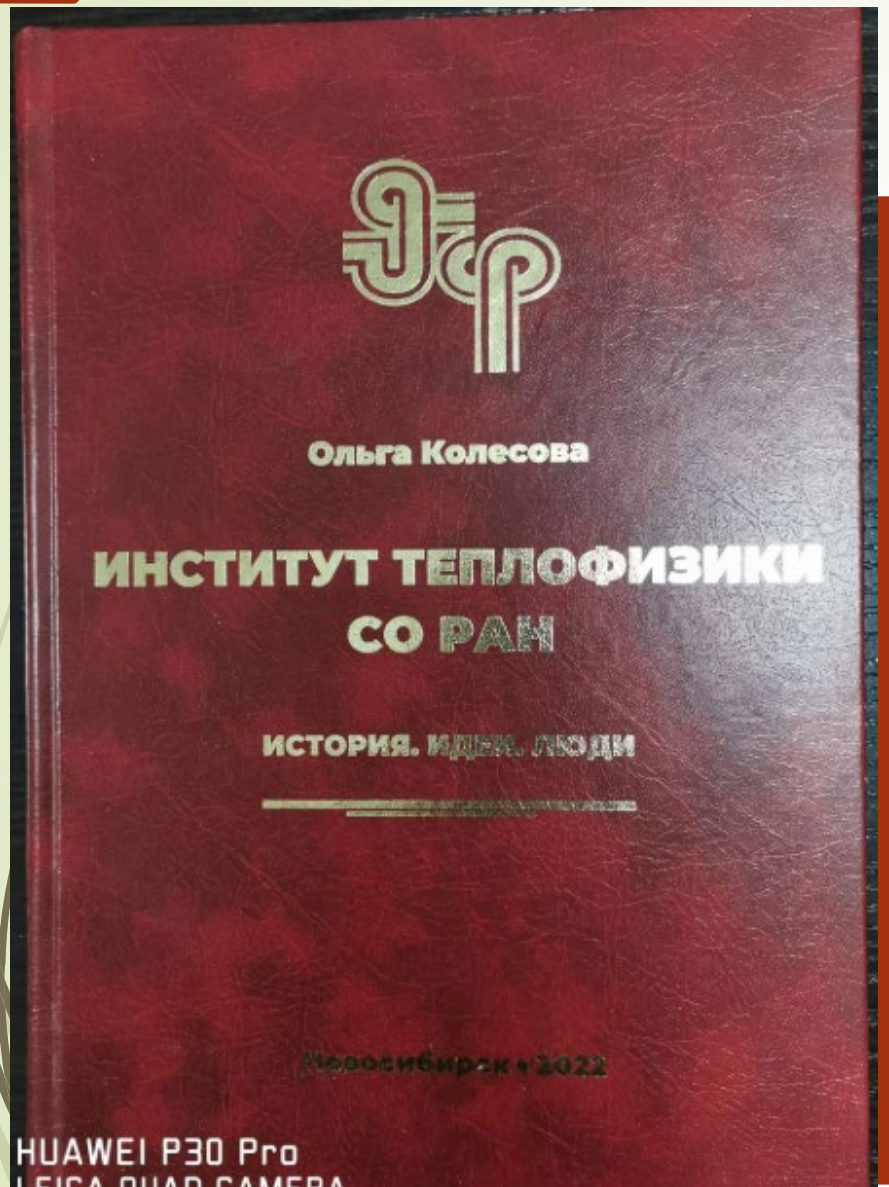
Опыт работы с фреоновой системой охлаждения и теплонасосной установкой

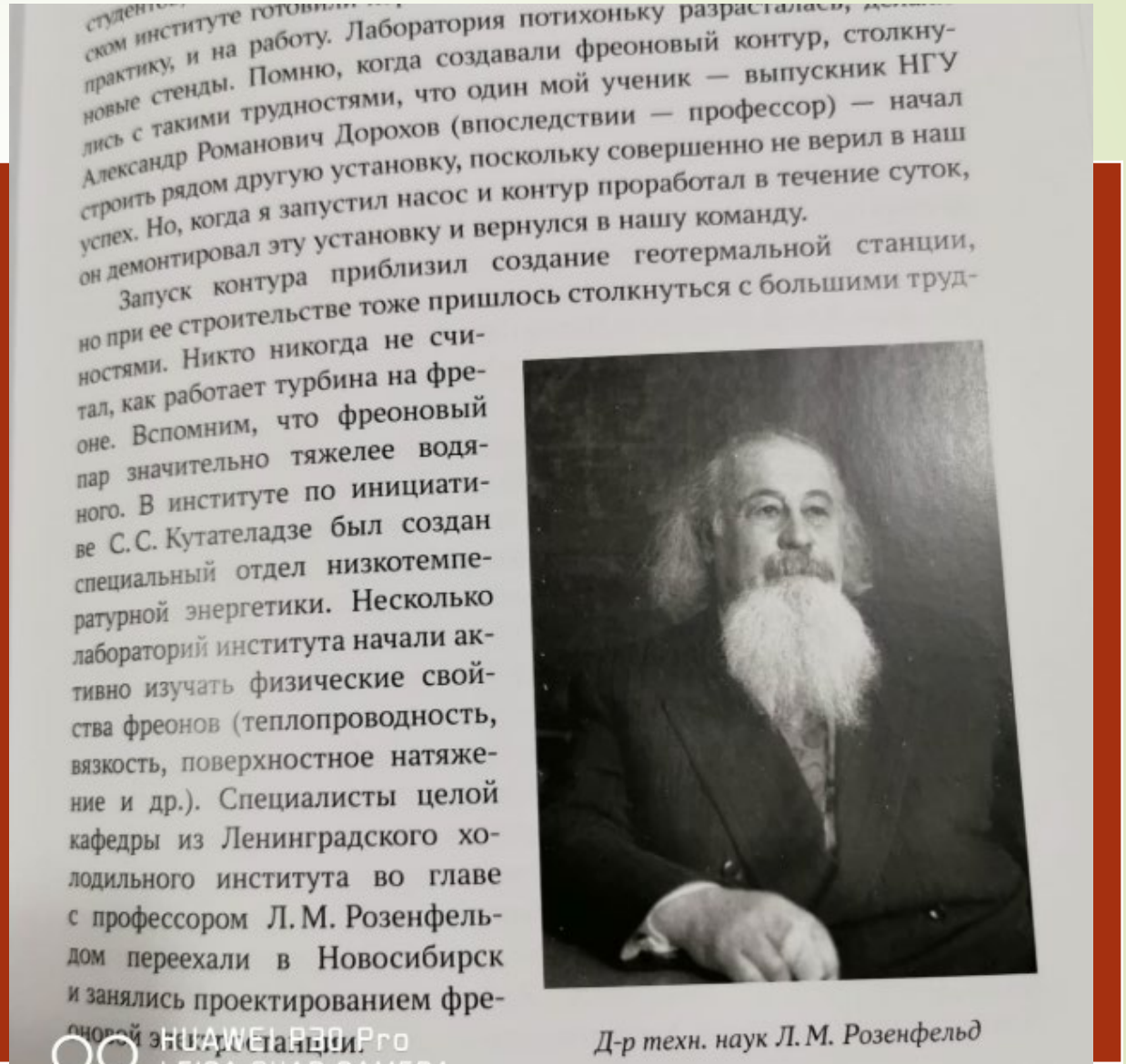


В преддверии 80-летия победы в Великой отечественной войне несколько слов о Л.М. Розенфельде

- Пережил блокаду Ленинграда, награжден медалью «За оборону Ленинграда», которой очень гордился.
- Награжден был ей за внедрение технического решения с использованием холодильных машин для намораживания льда, позволившее продлить срок эксплуатации Дороги жизни по льду Ладожского озера в весенний период.
- После войны по приглашению академика С.С. Кутателадзе работал в г. Новосибирске заместителем директора Института теплофизики СО РАН.
- В конце 80-х годов прошлого века работал главным научным сотрудником в коллективе, создававшем первый в мире сверхпроводниковый генератор, прошедший опытную эксплуатацию в энергосистеме.

В 2025 г. в г. Новосибирске выпущена книга, в которой отведено место научным исследованиям Л.М. Розенфельда, в частности, по холодильным машинам, к которым могут быть отнесены и тепловые насосы, и по фреонам





ском институте готовили
практику, и на работу. Лаборатория потихоньку разрасталась,
новые стенды. Помню, когда создавали фреоновый контур, столкну-
лись с такими трудностями, что один мой ученик — выпускник НГУ
Александр Романович Дорохов (впоследствии — профессор) — начал
строить рядом другую установку, поскольку совершенно не верил в наш
успех. Но, когда я запустил насос и контур проработал в течение суток,
он демонтировал эту установку и вернулся в нашу команду.

Запуск контура приблизил создание геотермальной станции,
но при ее строительстве тоже пришлось столкнуться с большими труд-
ностями. Никто никогда не счи-
тал, как работает турбина на фре-
оне. Вспомним, что фреоновый
пар значительно тяжелее водя-
ного. В институте по инициати-
ве С.С. Кутателадзе был создан
специальный отдел низкотемпе-
ратурной энергетики. Несколько
лабораторий института начали ак-
тивно изучать физические свой-
ства фреонов (теплопроводность,
вязкость, поверхностное натяже-
ние и др.). Специалисты целой
кафедры из Ленинградского хо-
лодильного института во главе
с профессором Л.М. Розенфель-
дом переехали в Новосибирск
и занялись проектированием фре-
оновой энергетики.

Д-р техн. наук Л.М. Розенфельд

Благодарю за внимание!

Если возникнут вопросы, предлагаю направлять их на почту lidiach@mail.ru

Обязательно отвечу.

Особенности использования датчика освещённости TEMT6000 при работе с фреймворком ESPRESSIF

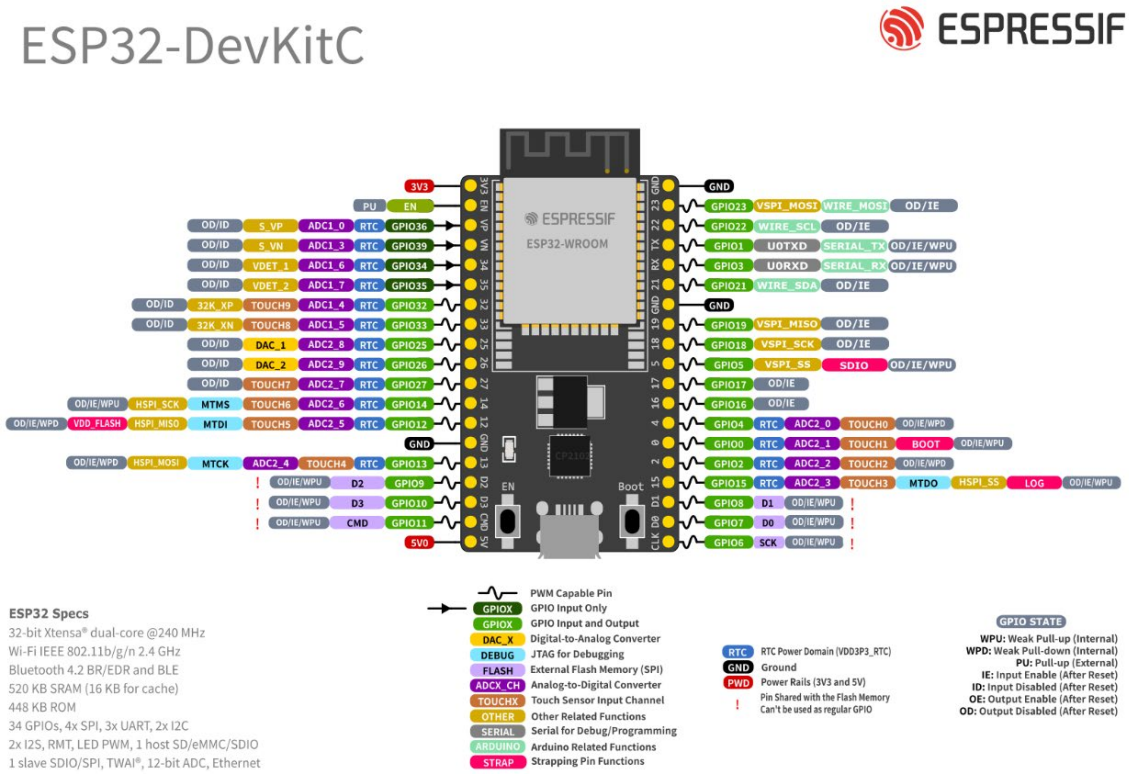
Завалишинские чтения

НПФ Полисервис:
Белай В.Е., инженер-разработчик
ГУАП:
Романова М.С., старший преподаватель
Чернышева О.Б., старший преподаватель
Мастеров А.П., ассистент

В статье рассматривается алгоритм разработки программного обеспечения при работе с датчиком освещённости TEMT6000, управляемым отладочной платой ESP32-DEVKITC-V4. Рассмотрены особенности инициализации аналогово-цифровых портов на фреймворке ESPRESSIF.

Особенности использования датчика освещённости TEMT6000 при работе с фреймворком ESPRESSIF

Завалишинские чтения



В ESP32-WROOM32U интегрирован 12-битный АЦП. Перевод значения напряжения на порте ADC1_7:

$$U = \frac{U_{ADC} \times 5}{2^{12}}$$

Процентное соотношение текущего значения напряжения на порте к макс.значению:

$$U_{\%} = \frac{U_{ADC} \times 100}{2^{12}}$$

Текущее значение токе в цепи TEMT6000:

$$I = \frac{U}{R_{SMD}}$$

Значение освещённости в люксах:

$$E_v = \mathrm{I} \times 2$$

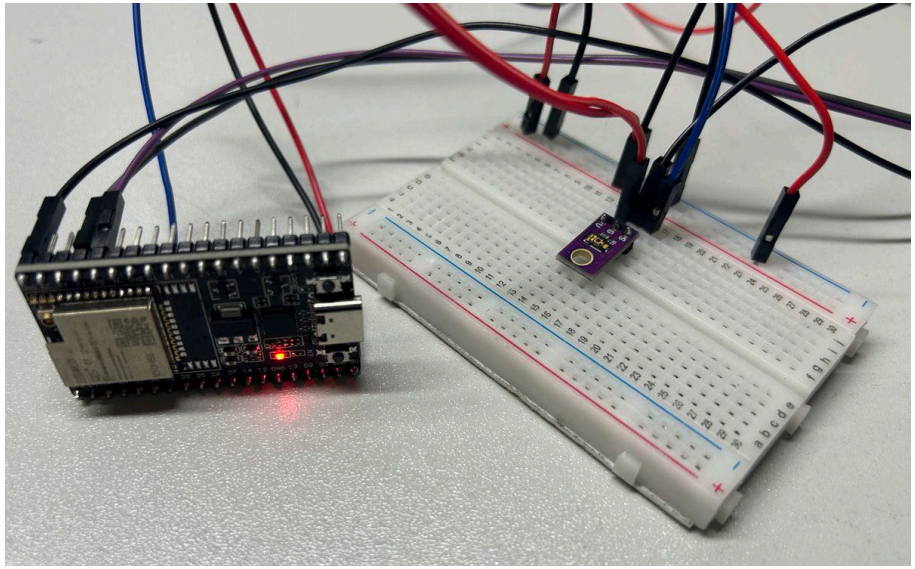
Особенности использования датчика освещённости TEMT6000 при работе с фреймворком ESPRESSIF

Завалишинские чтения

Используемые библиотеки:

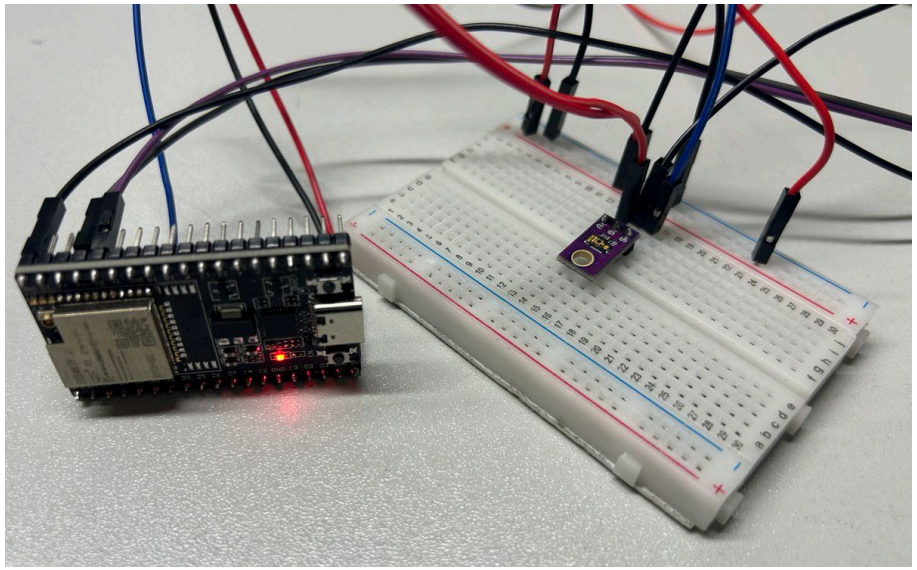
- stdio, stdlib;
- freertos/FreeRTOS, freertos/task;
- driver/gpio, driver/adc, esp_log.

```
Microamperes: 378.296
I (1546349) TEMT6000: Lux: 756.592
I (1547349) TEMT6000: Voltage:3.70
Voltage Percents: 70.70
I (1547349) TEMT6000: Amperes: 0.000
Microamperes: 370.483
I (1547349) TEMT6000: Lux: 740.967
I (1548349) TEMT6000: Voltage:3.86
Voltage Percents: 74.37
I (1548349) TEMT6000: Amperes: 0.000
Microamperes: 385.620
I (1548349) TEMT6000: Lux: 771.240
I (1549349) TEMT6000: Voltage:3.84
```



Особенности использования датчика освещённости TEMT6000 при работе с фреймворком ESPRESSIF

Завалишинские чтения



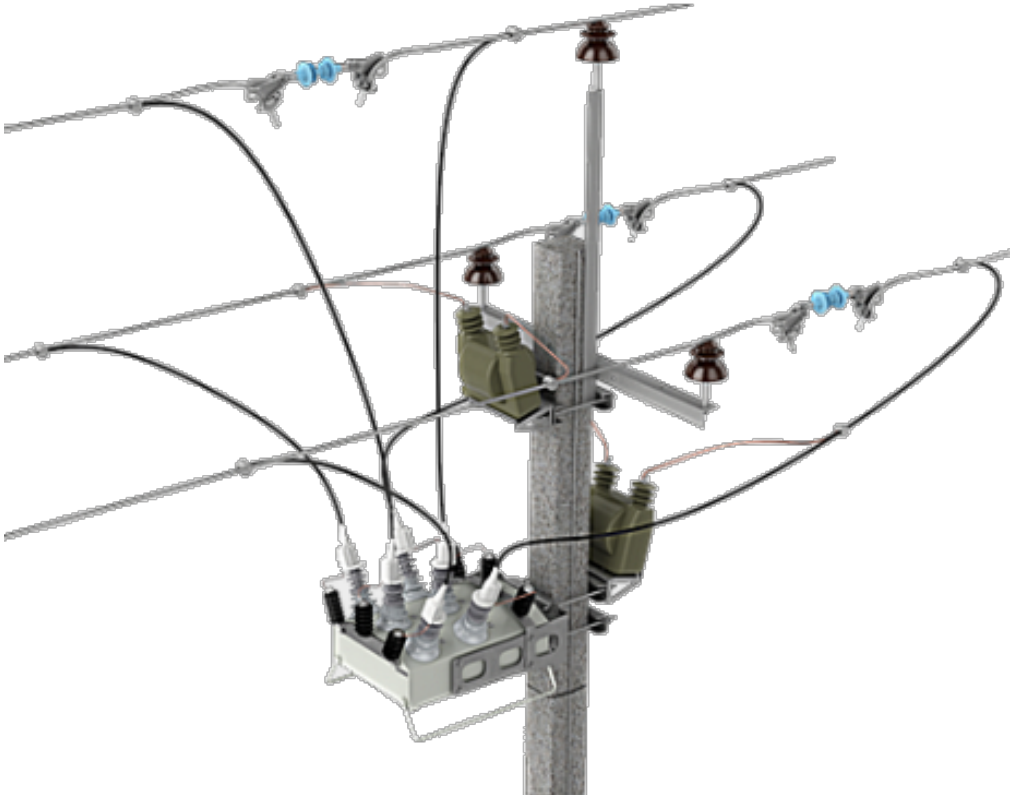
Ссылка на репозиторий с проектом

Спасибо за внимание!

Использование реклоузеров для автономного управления в распределительных сетях 6-10 кв

Завалишинские чтения

А.Д. Горюнов -студент кафедры электромеханики и робототехники
М.В. Сержантова – кандидат технических наук, доцент научный руководитель
СПб ГУАП

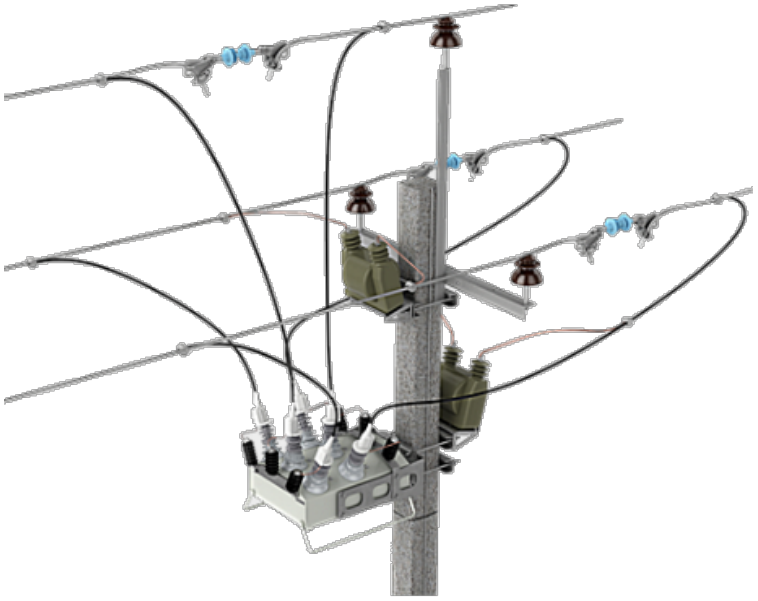


Использование реклоузеров для автономного управления в распределительных сетях 6-10 кв

Завалишинские чтения

Реклоузер − устройство автоматического управления и защиты воздушных линий электропередач на основе вакуумных выключателей под управлением специализированного микропроцессора.

Выполняет функции:
– автоматическое отключение поврежденных участков;
– автоматическое повторное включение (АПВ);
– автоматический ввод резервного питания (АВР);
– диагностика состояний собственных элементов;
– измерение параметров режимов работы сети;
– ведение журналов событий в линии;
– интеграция в системы дистанционного управления



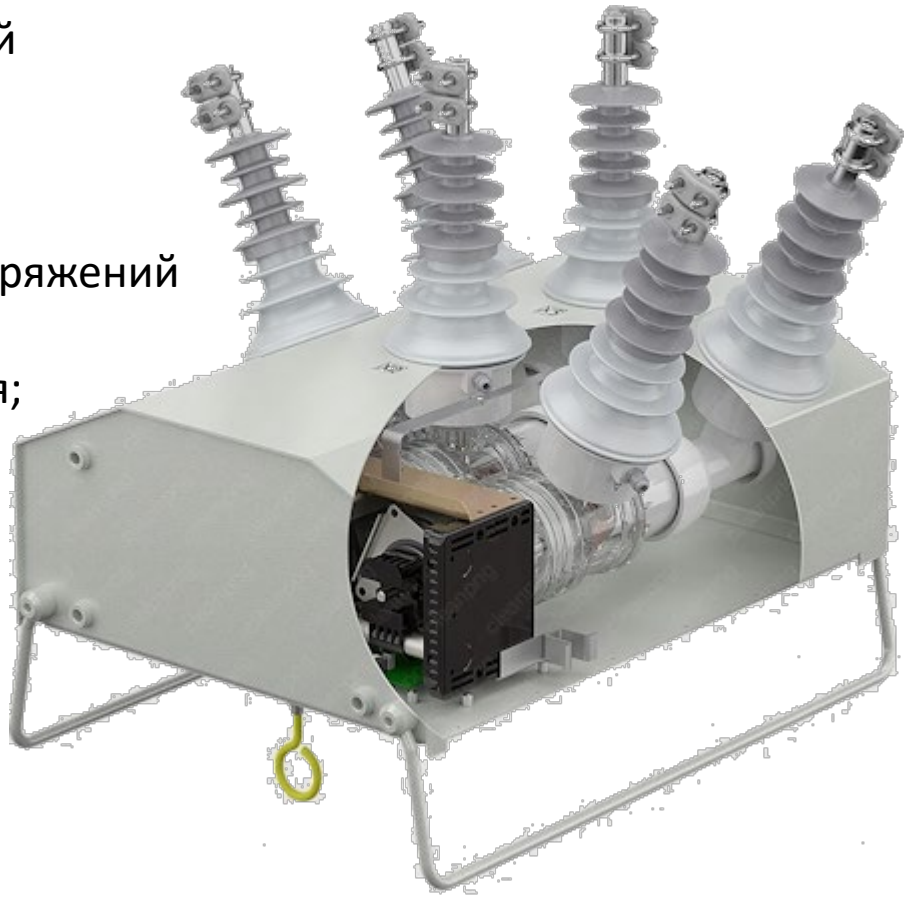
Использование реклоузеров для автономного управления в распределительных сетях 6-10 кв

Завалишинские чтения

Реклоузер вакуумный РВА/TEL-10-12,5/630

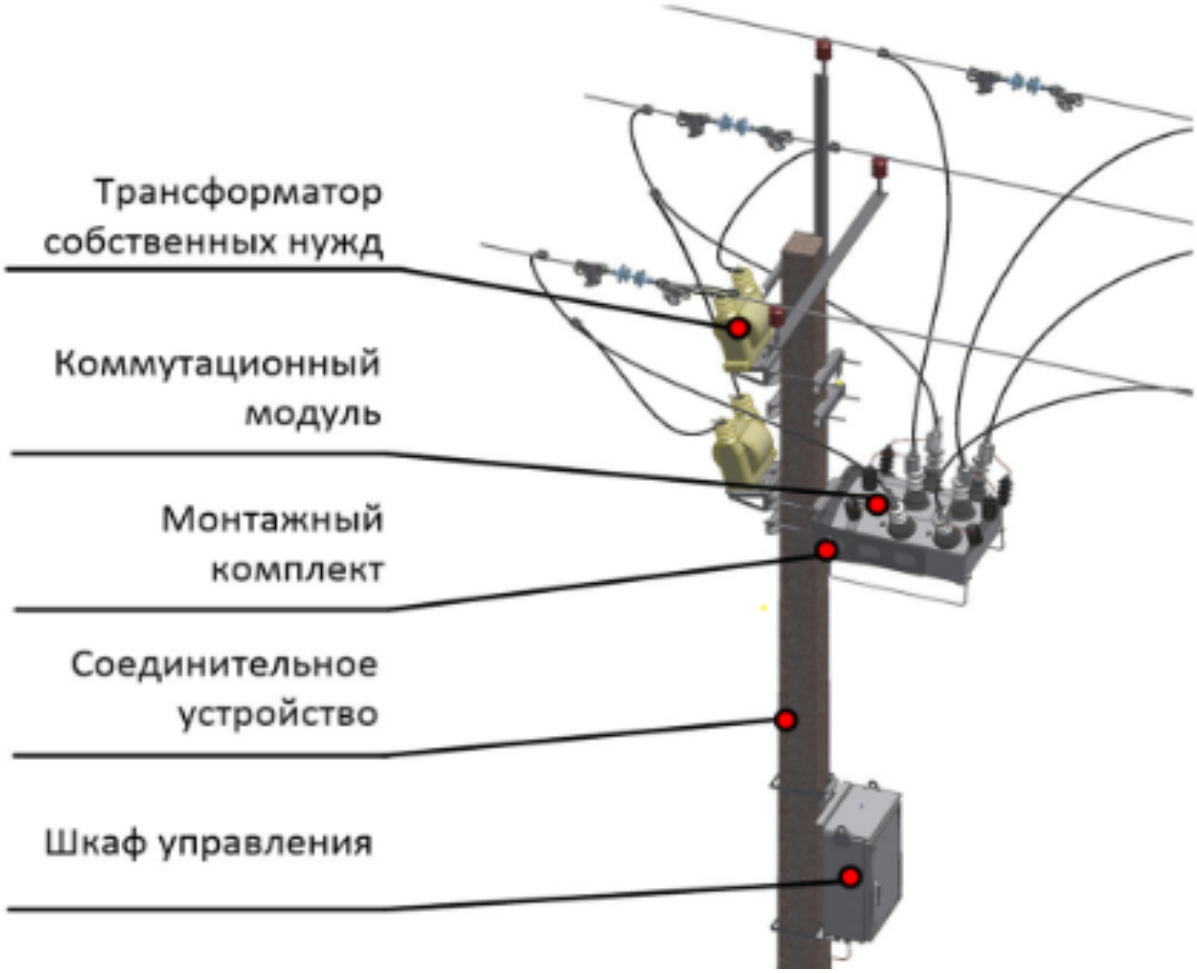
новое поколение оборудования,
объединившее в себе передовые технологии
микропроцессорной РЗиА и коммутационной
техники.

Основные достоинства:
– встроенная система измерения токов и напряжений с обеих сторон коммутационного модуля;
– надежная система бесперебойного питания;
– необслуживаемость;
– вандалозащищенность;
– малые массогабаритные показатели.



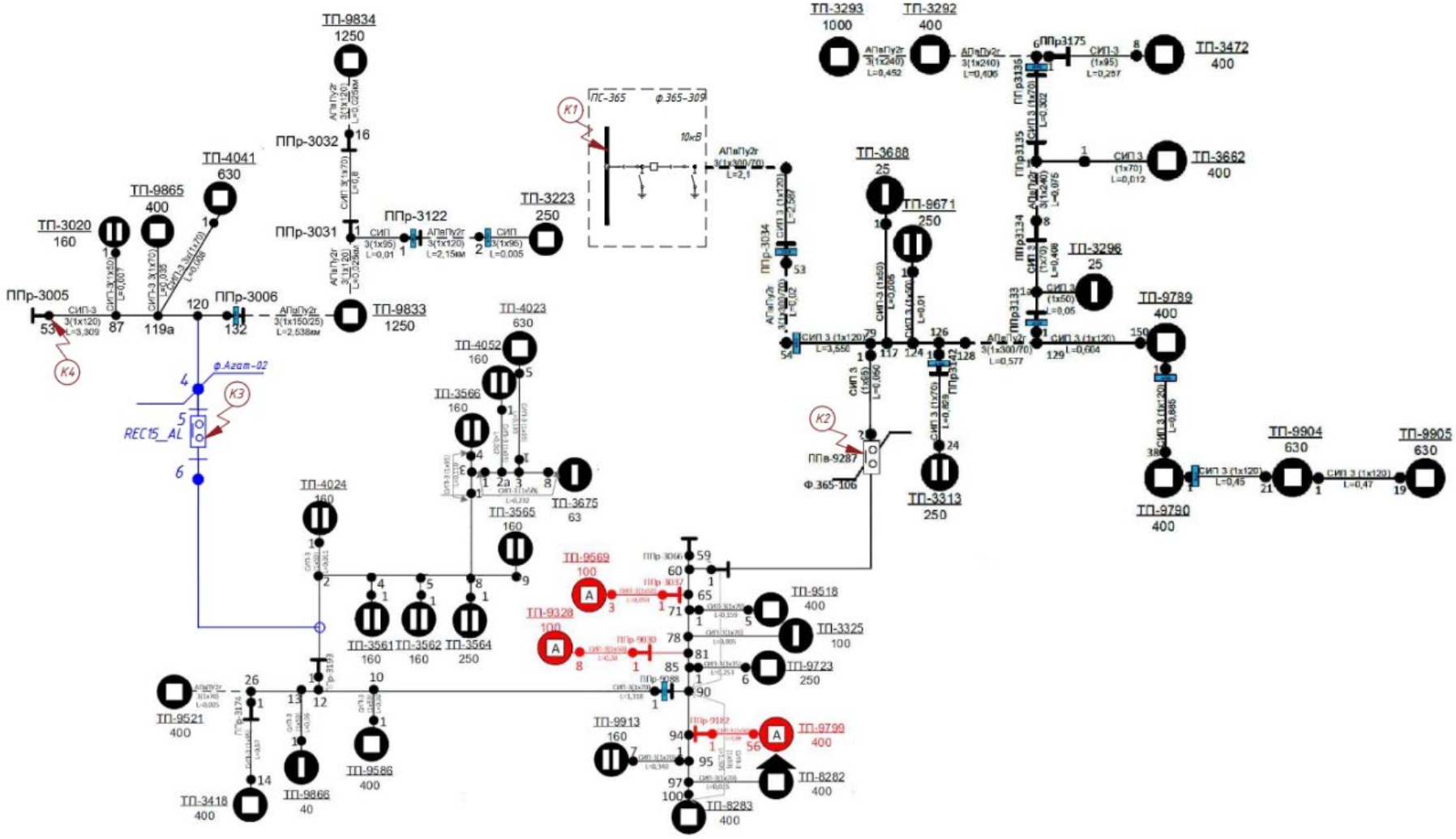
Использование реклоузеров для автономного управления в распределительных сетях 6-10 кв

Завалишинские чтения



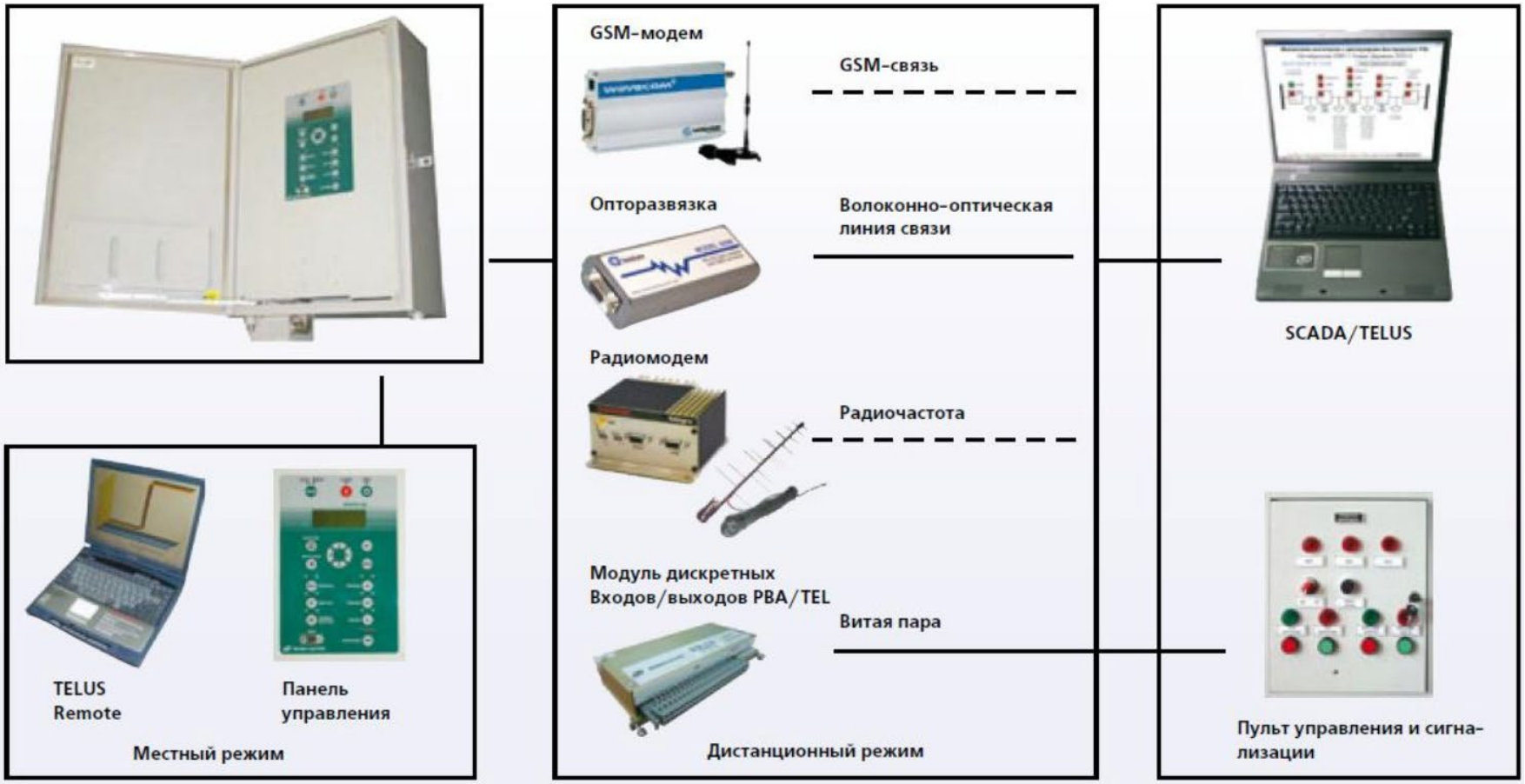
Использование реклоузеров для автономного управления в распределительных сетях 6-10 кв

Завалишинские чтения



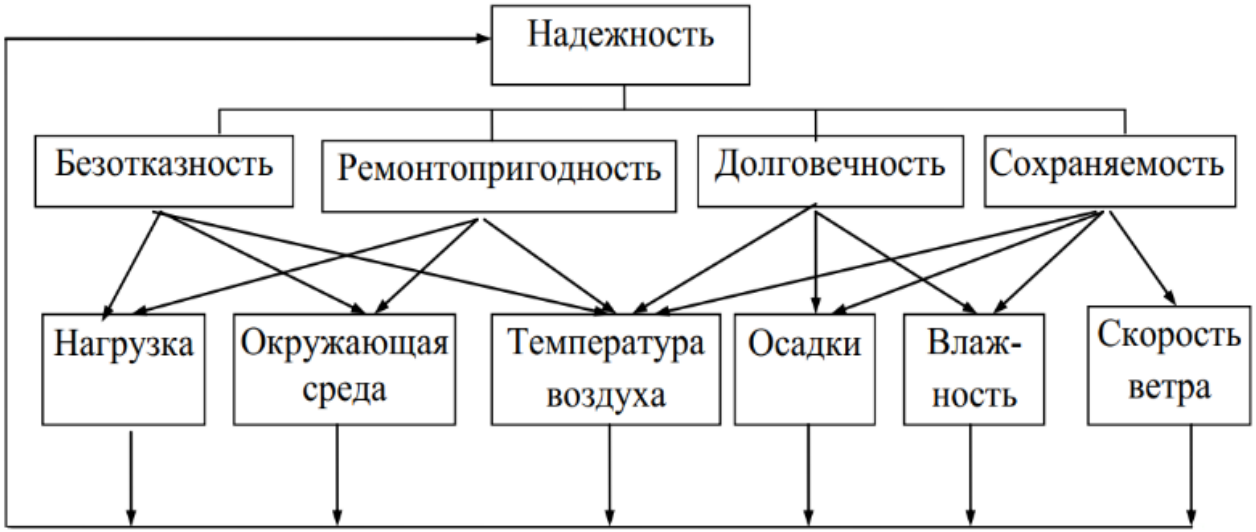
Использование реклоузеров для автономного управления в распределительных сетях 6-10 кв

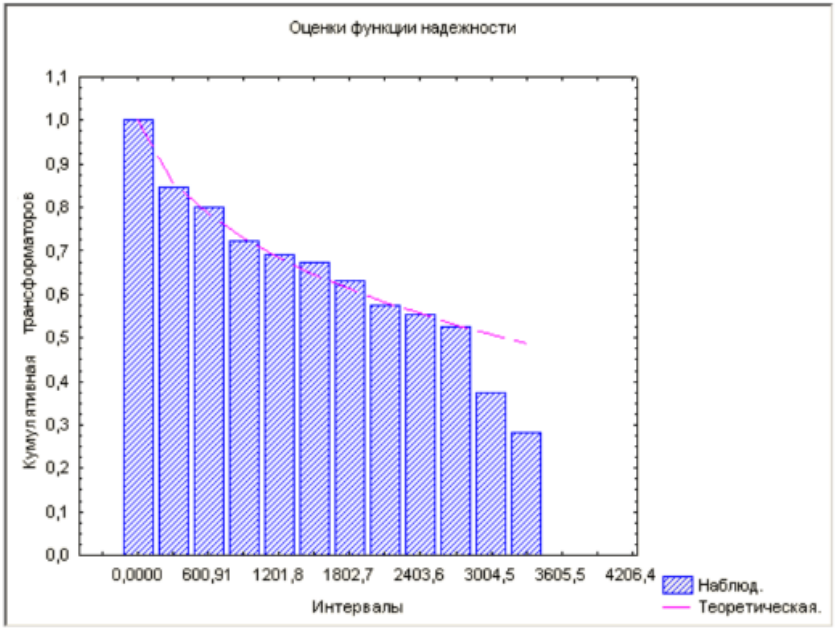
Завалишинские чтения



Использование реклоузеров для автономного управления в распределительных сетях 6-10 кв

Завалишинские чтения





Благодарю за внимание !

ГУАП

guap.ru

К.В. Епифанцев, О.А.Заякин

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ ФОРМЫ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ БЕСКОНТАКТНЫМ МУЛЬТИСЕНСОРНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ

Санкт-Петербург, 2025

Актуальность темы исследования

Современные цифровые измерительные приборы для контроля дефектов формы, месторасположения и биения, контура и шероховатости должны характеризоваться быстродействием, высокой точностью, оперативными процессом калибровки и юстировки. Однако на деле выясняется, что приборы для измерения формы, шероховатости и контура отнимают достаточно продолжительное количество времени на процессы подготовки к измерениям за счет калибровки и юстировки щупа КОНТАКТНОГО индуктивного действия зарубежного производства

Параметры и методы работы высокоточного прецизионного, дорогостоящего, а в настоящее время не подлежащего ремонту из-за санкций зарубежного оборудования являются причиной замедленного роста качественной продукции. Применение новых национальных стандартов для нормирования продукции свидетельствует о наращивании числа измерений в координатной метрологии, что также невозможно осуществить действующими затратными по времени методами контроля готовой продукции. **В рамках действующих устаревших стандартов** *(ГОСТ 8.481—**82** Кругломеры. Методы и средства поверки)* **невозможно говорить о создании эталонов нового типа для приборов измерения дефектов формы. Старые типы эталонов большинстов измерений проводят косвенным методом.** Существующие методы обеспечения точности и уменьшения погрешности в разрезе национального проекта «Повышение производительности труда», постановления Правительства РФ от 16 сентября 2016 г. № 925 «О приоритете товаров российского происхождения, должны быть усовершенствованы путем создания приборов и разработки методов измерения нового прогрессивного вида

Приказ Минпромторга России от 02.08.2021 N 2918 (ред. от 07.07.2023) "Об утверждении Плана мероприятий по импортозамещению в отрасли радиоэлектронной промышленности Российской Федерации до 2024 года"

Национальный проект «Повышение производительности труда»

Постановление Правительства РФ от 16 сентября 2016 г. № 925 «О приоритете товаров российского происхождения, работ, услуг, выполняемых, оказываемых российскими лицами, по отношению к товарам, происходящим из иностранного Государства»

Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 53442-2015 (ИСО 1101:2012) "Основные нормы взаимозаменяемости. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения

С 1 сентября 2019 действуют новые правила национального режима при закупке радиоэлектронной продукции по Закону № 44-ФЗ,

8 апреля 2022 г. – Приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации утверждён План мероприятий по импортозамещению измерительного, в том числе метрологического, оборудования, разработанный Росстандартом совместно с Минпромторгом.

Противоречие, противоречие, научная проблема, концепция

Существующие методы кругломеров действующего типа обусловлены недостатками: порча и царапины на измеряемой поверхности при контактном щупе, длительный процесс юстировки, сколы щупа, ГОСТы по эталонам устарели (ГОСТ 8.481—82 Кругломеры. Методы и средства поверки) Действующим видами эталонов невозможно провести калибровку и поверку мультисенсорных приборов. Для измерения формы и дефектов поверхностного слоя *одновременно не существует методов* совмещенной работы в одном приборе. В настоящее время промышленности необходима высокая производительность и долговечность работы, однако в текущих условиях это невозможно. ВОЗНИКАЕТ ПРОТИВОРЕЧИЕ

В соответствии с вышеизложенным возникает **важная научная проблема** внедрения мультисенсорного оптико-емкостного метода контроля, характеризующегося высокой достоверностью и уменьшением времени измерения, суммарного времени на калибровкупо отношению к существующим методам. Т.е. необходимо разработать модели и методы перехода от моносенсорных приборов к мультисенсорным приборам в условиях жестких ограничений импортозамещения

Разрешение этого противоречия может быть достигнуто путем применения методов оптического-вихретоково-емкостного сканирования. Проведение контроля на основе данных датчиков позволяет существенно повысить достоверность измеренияза счет того, что информация о поправках принимается на основе измерения спектральной характеристики излучения от материала.

Проведение контроля на основе комплексного измерения дефектов детали существенно снижает стоимость линейки приборов, увеличивает производительность за счет ускоренного контроля, понижает систематическую и методическую погрешность

Импортозамещение

Моносенсорность → Решение научной проблемы → Мульти-сенсорность

Обновление эталонов

Концепция диссертации

Формирорвание мультисенсорного сигнала с датчиков приемных преобразователей для улучшения точности

Разработка эталона нового типа для повышения скорости калибровки оборудования

Модели

- Модель взаимного размещения датчиков в разных частотных диапазонах
- Модель создания помехозащищенной схемы на датчике оптического вида
- Модель создания помехозащищенной схемы на датчике емкостного вида
- Модель создания помехозащищенной схемы на датчике вихретокового вида

Средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок

- Измерение координатных составляющих перемещений
- Расчетная модель поправки при взаимном влиянии датчиков разного типа и внешних условий
- Программное обеспечение системы измерения координатных смещений оси

Методики

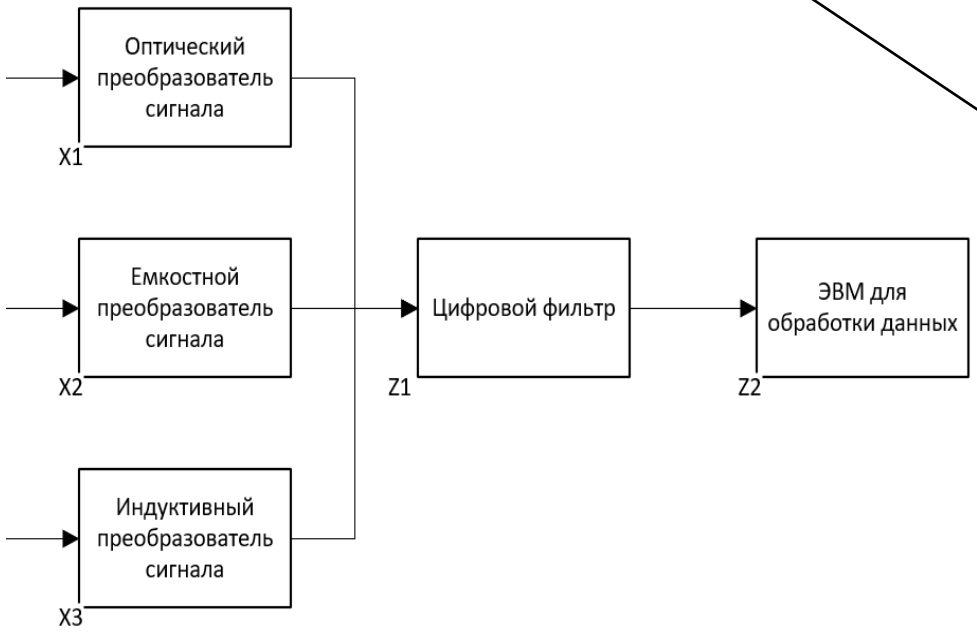
- Методика комплексной калибровки приборной оснастки
- Методика расположения пригрузов на эталоне нового типа
- Методика расчета статистики и матанализ
- Методика разработки программного обеспечения для визуализации измеренных значений
- Методика контроля для нивелирования погрешностей приборов контроля формы бесконтактным способом
- Методика выравнивания приборной базы

Степень разработанности темы

Значительный вклад в развитие теории и методов координатных измерений внесли : Телешевский В.И., Лысенко В.Г., Демкина В.Н., Глухов В.И., Сергеев С.А., Никольский А.А., Ю.В.Чугуй, Королев В. В., Заякин О.А., Чирков А.П., Манухин А.В., Ямбаев Х. К., Четвернин М.Ю., В.С.Соболев и Г.А. Кащеева, Р.О.Сироткин, В.Н.Белопухов, С.Ю.Боровик, М.М.Кутейникова, П.Е.Подлипнов, Ю.Н.Секисов, О.П.Скобелев, О.А.Заякин. ОДНАКО не был рассмотерн вопрос применения вихретоково-оптических методов мультисенсорного типа, не учтено влияние массово-габаритно свойств материалов

Развитие обработки результатов измерений методами бесконтактных оптических машин и координатной метрологии рассмотрены в научных трудах Захарова О.В., Бржозовского Б.М., В.М. Белопухова, В.К. Осташовой, Кожеватова И. Е., Куликова Е. Х., Черагина Н. П., Шемагина В. А., Кретинина О. В., Леуна Е. В., Пронякина В.И., Скобелева О.П., Минакова В.Л. НО не решена проблема возможности использования нескольких датчиков помехозащищенного типа в одном корпусе

По диагностике деталей с помощью оптических сканеров работы опубликованы зарубежными авторами Zhang, W., Han, Z., Li, Y., Zheng, H., Cheng, X., Rader C., Spragg R.C.,российскими учеными Минаевым В.Л., Захаровым О.Б., Телешевским В.И.Но использованные методы ученых акцентируются на создании только 3D-сканеров и микросокопов и шерографов, обладающих рядом недостатков к примеру для измерения обьемных деталей-подшипников



В работах ученых, представленных выше,не рассматривался вопрос учета преобразователем качества покрытия материала, не рассматривался Вопрос эталонной базы при калибровке мультисенсорного оборудования

Указанные исследования не ставили задачей совмещение нескольких методов измерения в единый мультисенсорный датчик, что представляет собой более универсальную измерительную систему для контроля дефектов формы деталей из пластика, стали, алюминия

Цель, объект и предмет исследования

Целью работы является разработка универсального метода мультисенсорного контроля процессов и тел вращения за счет повышения результативности и достоверности процесса измерения формы и контура деталей на основе разработки концепции приборной базы.

Объект исследования – процесс разработки новых методов контроля дефектов формы и поверхностного слоя деталей при повышении результативности процесса центрирования и калибровки

Предмет исследования – бесконтактный принцип снятия измерительной информации с мультисенсорного сканирующего прибора.

Задачи

1. Разработка математической модели нового компараторного элемента для передачи единицы биения кругломера, повышения точности измерения, суммарное уменьшение времени на калибровку прибора

2.Разработка помехозащищенного бесконтактного оптического датчика для ускорения контроля партии деталей и обеспечения сходимости и воспроизводимости измерений в условиях внешних шумовых воздействий

3.Разработка многомерного метода автоматического управления процессом сканирования для информационно-измерительной системы, который обеспечит совмещенный контроль параметров формы, вида дефектов материала и дефектов поверхностного слоя

4. Разработка методики анализа экспоненциальных зависимостей погрешности измерений от режимов обработки информации для сигналов в диапазоне 100-150 МГц при осциллографировании и применении LCR-метрической линейки отечественных приборов в условиях импортозамещения

5. Разработка универсального метода подготовки и проведения контроля дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным мультиплексным сканированием для снятия как дефектов формы, так и учета свойств материала покрытия детали.

Решение поставленных задач базировалось на использовании математического моделирования, программирования, использования комплексного управления, системного анализа и синтеза, сравнения, обобщений и оценок с привлечением методов интегрального исчисления, численных методов и теории интерпретации полученных результатов.

Научная новизна исследования

1. Разработана **новая** математическая модель принципов работы системы центрирования-выравнивания кругломера, которая, в отличие от известных, обладает повышенной скоростью калибровки, учитывает свойства материала, повышает точность измерения, что позволяет суммарно значительно уменьшить время на калибровку кругломера. Разработан новый метод передачи единицы в качестве образца сравнения-компараторного элемента к основному эталону ОМОК-1;

2. **Новая концепция** помехозащищенного бесконтактного оптического лазерного датчика позволяет ускорить контроль партии деталей и повысить точность измерения, что в отличие от известных конструкций, обеспечивает сходимость и воспроизводимость измерений в условиях внешних шумовых воздействий;

3. Предложен **новый м**ногомерный метод автоматического управления процессом сканирования для информационно-измерительной системы, который обеспечивает точность сканирования в заявленном диапазоне, высокую скорость диспетчерского управления процессом на ПК, что в отличие от известных программ имеет возможность интегрироваться с интерфейсом как вихретокового, так и емкостного и оптического преобразователя;

4. Установлены **новые** экспоненциальные зависимости погрешности от режимов обработки информации, которые способствуют улучшению обработки сигналов в диапазоне 100-150 МГц при осциллографировании и применении LCR-метрической линейки отечественных приборов, что в отличие от известных методов, позволяют использовать их в условиях импортозамещения для экономики в целом

5. Разработан **новый** универсальный метод подготовки и проведения контроля дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным мультисенсорным сканированием, который существенно экономит стоимость оборудования и обеспечивает мультипликативный эффект для снятия как размерных дефектов, так и учета свойства материала, что в отличие от известных методов, позволяет использовать мультиплексный щуп не только для измерения дефектов формы, но и анализа качества покрытия материала детали

1 гипотеза

Математическое описание нового метода передачи единицы кругломера, в отличие от известных, используется в качестве образца сравнения-компараторного элемента к основному эталону и учитывает массово-габаритные свойства материала, повышает точность измерения, что позволяет суммарно уменьшить время на калибровку кругломера до 18%;

Имитационная модель нового метода передачи единицы

$$\Delta S(\dot{\Delta}\theta_p) = \frac{\sqrt{\frac{1}{11}\sum_{i=1}^{12} F_{max_i} - \overline{F}_{max}}}{\overline{F}_{max}} \cdot 100$$

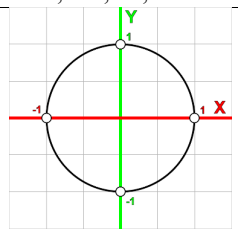
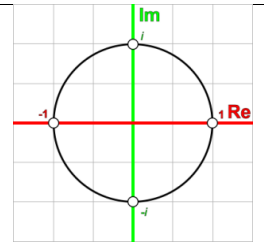
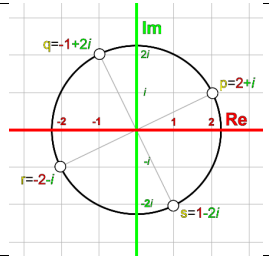
$$\Delta V_p = \Delta V_c \pm 2 \cdot S(\dot{\Delta}V)$$

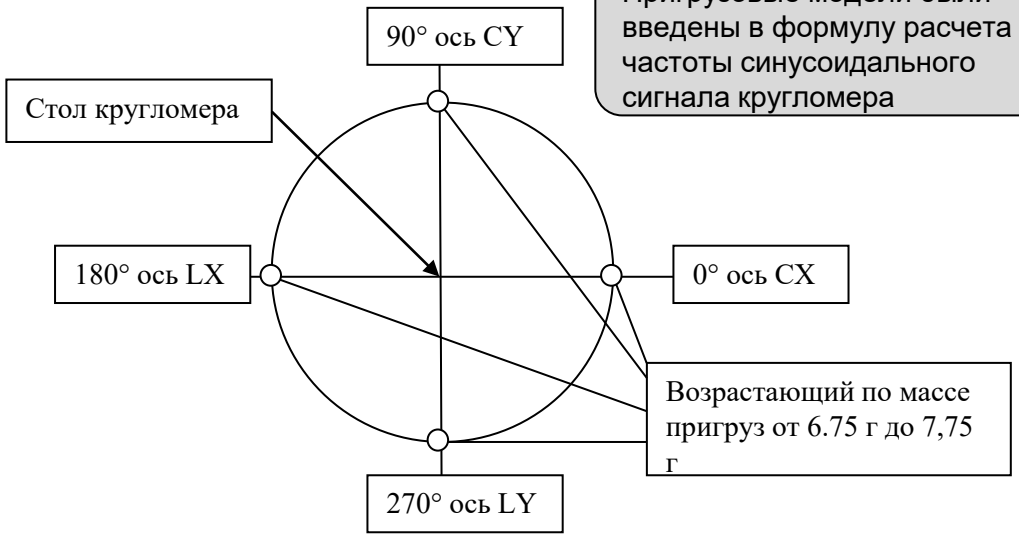
$$f_k = \frac{\omega \cdot k \cdot \sum_{i=1}^{12}(\text{пригруз})\, m}{60}$$

$$S(\dot{\Delta}_\Sigma) = \frac{\sqrt{\frac{1}{11}\sum_{i=1}^{12}(F_{max_i} - \overline{F}_{\max})^2}}{\overline{F}_{max}} \cdot 100$$

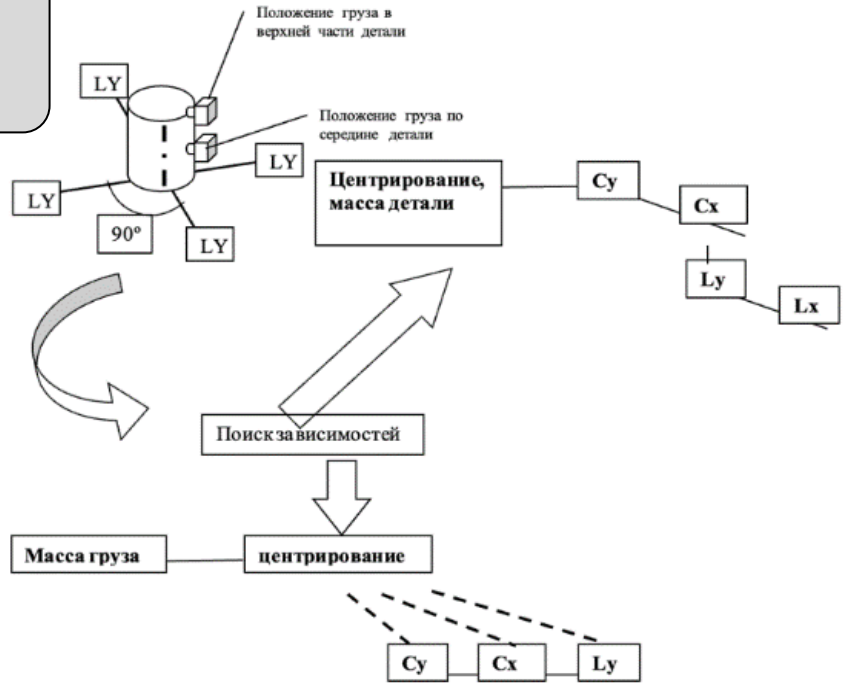
Используемая в формуле мера отклонения от круглости заменяется математической моделью отклонения от идеального биения, что позволяет выйти более простым методом на расчет торцевого, радиального биения, цилиндричности

Зависимость результата измерения биения от увеличения грузов, мкм

Стандартная плоскость, которую можно рассматривать как стол с трехкулачковым патроном с системой компенсацией осей через CX, CY,LX, LY	После введение комплексных чисел на стандартной плоскости
	
Введение комплексных чисел на комплексной плоскости	
	



Пригрузовые модели были введены в формулу расчета частоты синусоидального сигнала кругломера



Схематичное представление влияния пригрузов на шпинделе кругломера

Математическое описание системы центрирвоания-выравнивания сводится к математическому моделированию процесса компенсации патрона кругломера, обладающего системой автоматического управления и пересчета координат при вращении для выравнивания осей.

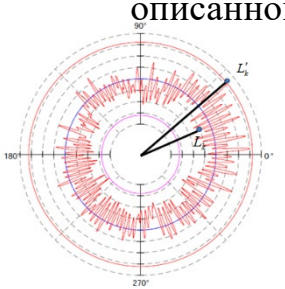
Для расширения эталонной базы данного высокоточного прибора необходимо ввести также еще один важный эталон и методику для измерения осевого биения детали, как наиболее важного и часто используемого измерения при решении производственных задач по выявлению брака деталей в виде тел вращения.

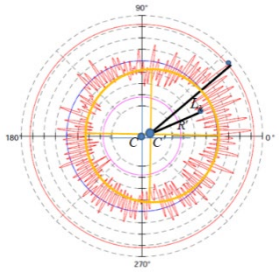
В процессе проведения эксперимента, была реализована методика и прототип эталона для определения биения детали (Таблица 1). Совершенстование эталона произошло после многократного ананлиза формирования кардиоиды, описанной на формуле

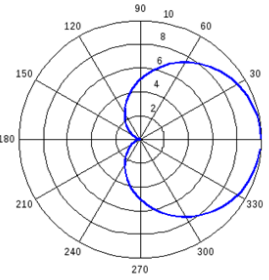
$$\Delta R'_k = 1000 \cdot \frac{R' - C'L_k}{5000}$$

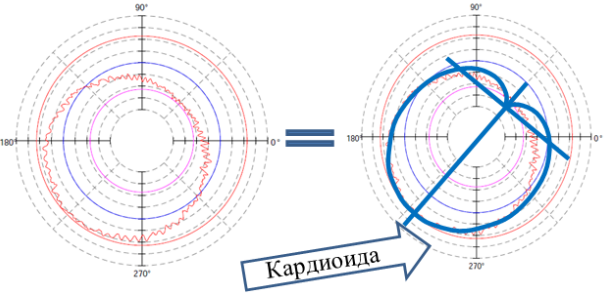
где R- радиус средней окружности

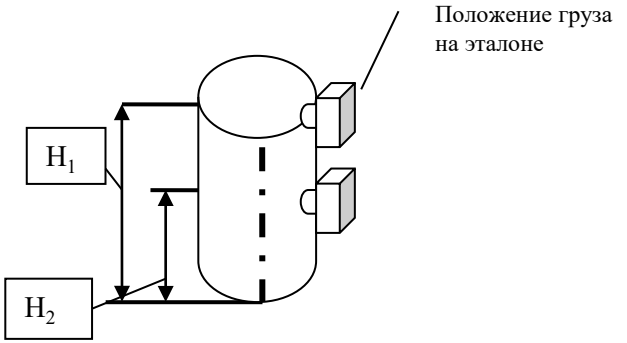
$C'L_k$- расстояние от центра С до точки Lk



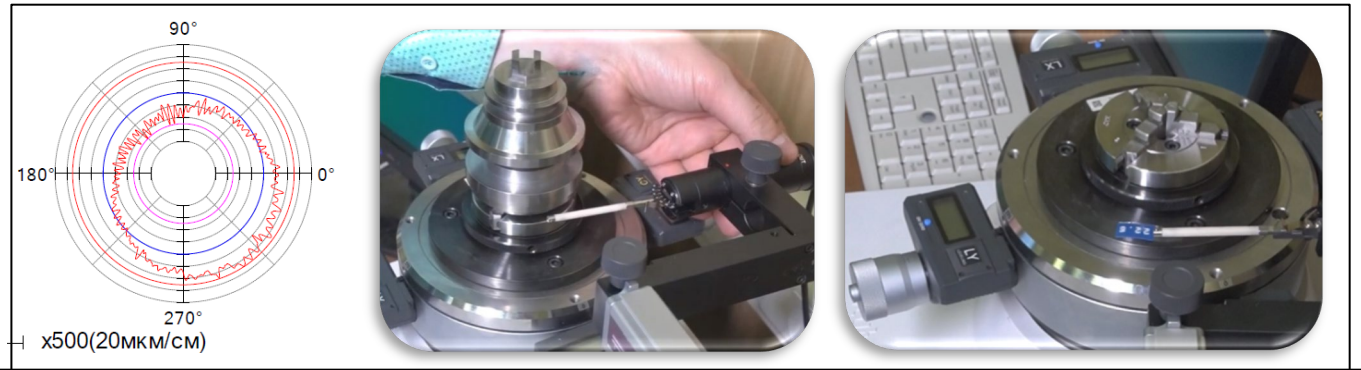








Старый (фото ниже) и новый (выше) метод калибровки



Математический алгоритм установил четкую взаимосвязь между пригрузами и системой автоматического выравнивания стола, что имеет больший отклик , чем система калибровки по щупу

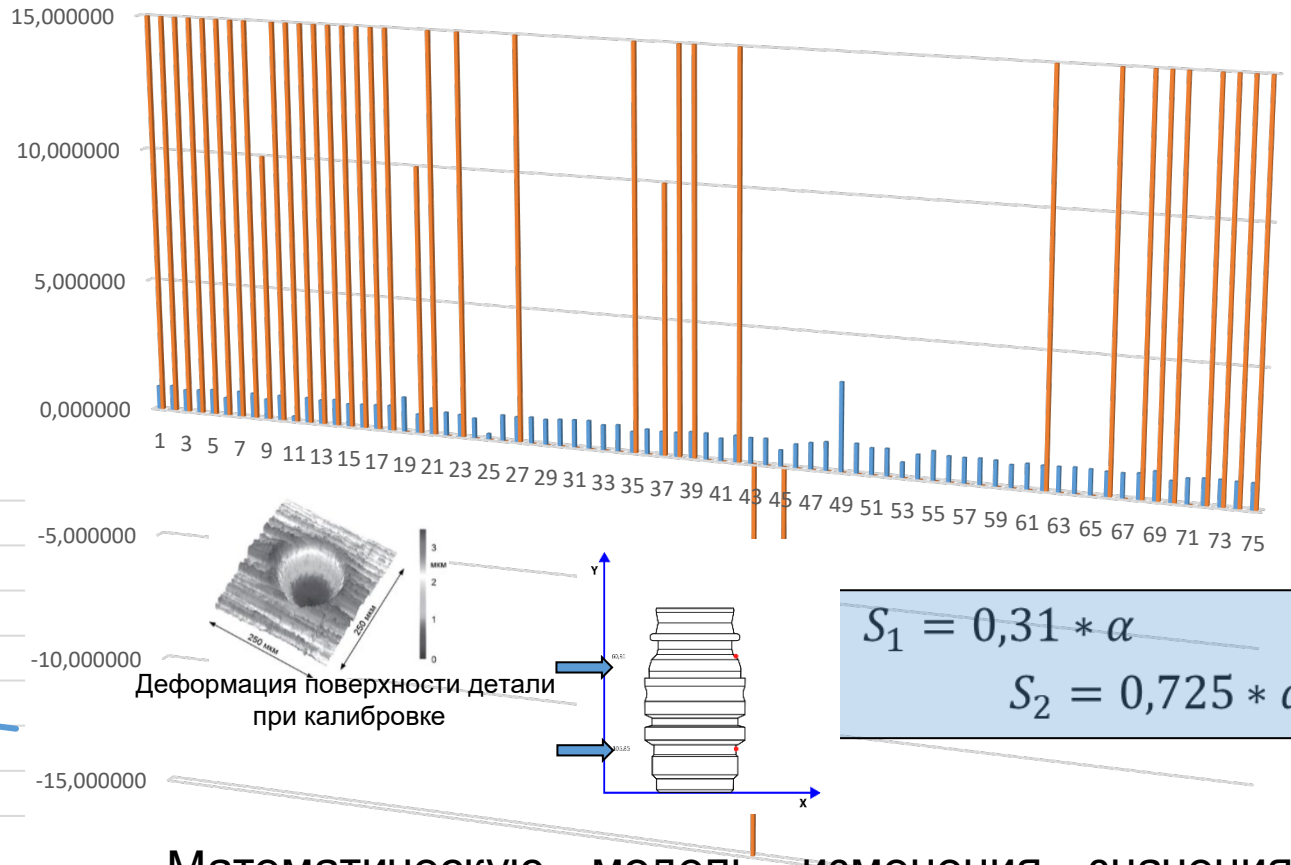
Результаты калибровок щупа кругломера за 2021-2023 гг

Разные месяца,дни,года, вся сводка

Калибровка по нескольку раз в день, разные года и месяца

Сборка по калибровке несколько раз в месяц, месяца идущие друг за другом

Зависимость результата калибровки от угла наклона щупа



Деформация поверхности детали при калибровке

$$S_1 = 0{,}31 * \alpha$$

$$S_2 = 0{,}725 * \alpha$$

Математическую модель изменения значения погрешности эталона в зависимости от влияния на него различных факторов можно представить как **Y(t) = XU(к1 ,к2 ,…кn ;t)**, где к1 – j-й элемент нестабильности щупа при калибровке; t – время.

После введения нового метода калибровки на основе эталона осевого биения (или СОП)

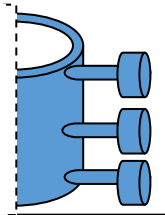
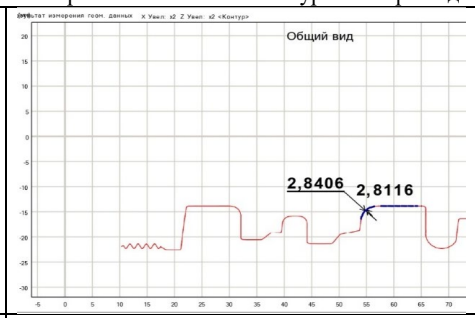
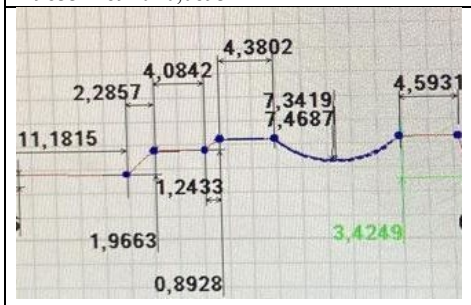


Таблица 1 – Результаты разности измеренных элементов контура в 1 партии деталей

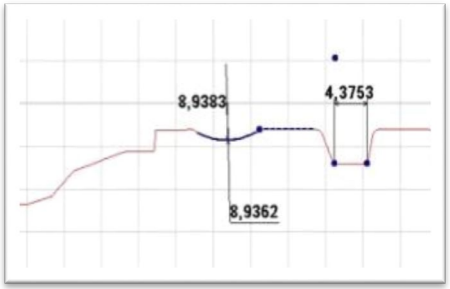
2.9833-2.8940=0,0893мм



2.8406-2.8116= 0,29мм



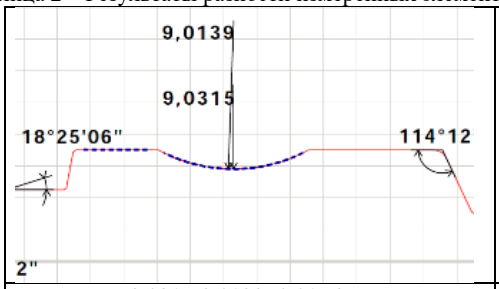
7.4687-7.3419=0,1268мм



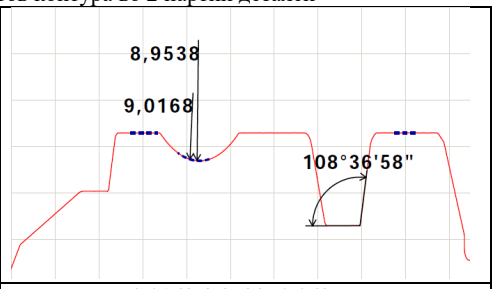
8.9383-8.9362=0.0021мм

акже в нижней части приведены данные из одной партии измерений, которая была сделана в течение оверки партии деталей за 1 сутки (Таблица 2)

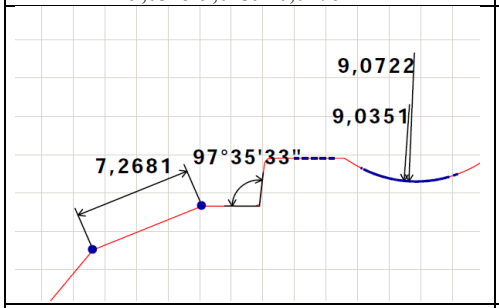
аблица 2 – Результаты разности измеренных элементов контура во 2 партии деталей



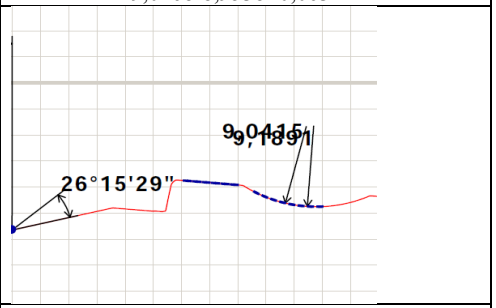
9,0315-9,0139=0,0176мм



9,0168-8,9538=0,063мм



9,0722-9,0351=0,0371мм



9,1891-9,0415=0,1476мм

По первой партии деталей, чтобы найти дисперсию (s^2) найти сумму ($\Sigma(x)$) и сумма квадратов (SS) (Таблица 3)

Таблица 3 – расчет данных по дисперсии 1 партии

x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
0.0021	-0.1249	0.01560001
0.0893	-0.0377	0.00142129
0.1268	-0.00020000000000001	4.0000000000002E-8
0.29	0.163	0.026569
$\Sigma x_i = 0.5082$		$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 0.04359034$

$$s^2 = \frac{SS}{n-1} \quad (1)$$

Дисперсия= 0.01, а коэффицент дисперсии

$$c = \frac{s}{\sqrt{x}} \quad (2)$$

c=0.9488

При этом СКО по первой партии σ = 0.1044, σ на основании несмещённой оценки дисперсии = 0.1205. По второй партии, которая была проконтролирована за 2 дня, чтобы найти дисперсию (s^2) найти сумму ($\Sigma(x)$) и сумма квадратов (SS)

Таблица 4 – расчет данных по дисперсии 2 партии

x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
0.0176	-0.0484	0.00234256
0.0371	-0.0289	0.00083521
0.063	-0.003	9.0E-6
0.1476	0.0816	0.00665856
$\Sigma x_i = 0.2653$		$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 0.00984533$

$$s^2 = \frac{SS}{n-1}$$

Дисперсия= 0., а коэффицент дисперсии

$$c = \frac{s}{\sqrt{x}}$$

c=0.8682

По второй партии СКО будет следующим σ = 0.05, σ на основании несмещённой оценки дисперсии = 0.06

Таким образом, во второй партии сделанной на приборе в течение 2-х суток разброс данных, судя по дисперсии и расчету СКО меньше, что может объясняться более короткими промежутками между калибровками оборудования и применением более отлаженной методики установки детали, поворота детали с большей выверенной точностью. Необходимо в методику поверки также включать сходимость результатов измерений одной и той же детали под разными углами, чтобы выявить люфты пиноли прибора при ее наклоне в левую или в правую сторону. Возможно, это позволит выявить некоторые некорректные режимы работы операторов, или выявит необходимость дополнительной настройки приборов

Согласно ГОСТ 8.481—82 Кругломеры. Методы и средства поверки, операции связанные с выявлением погрешности выявляются эталонными мерами ОМОК-1 и ОМОК-2 (образцовые меры отклонения от круглости) есть ряд пробелов в учете погрешностей

$S=(\Delta\Theta p)=0{,}003\cdot \Delta\Theta p \cdot Vmax$

Разработанный метод калибровки эталоном осевого биения

Расчет СКО относительной радиальной погрешности кругломера согласно ГОСТ 8.481-82
ΔΘр - доверительный интервал радиальн.погрешн
V max - максимальное из номинальных значений коэффициента увеличения, при котором определялась погрешность

Результат центрирования сравнивается с заранее известным эталоном

Уход от старого долгого метода калибровки пленке 22,4 мкм и длительного выравнивания осей прибора, уход от эталона ОМОК-1

Процесс измерения биения позволяет на новом эталоне выявить погрешности, которые ранее не выявлялись на ОМОК-1

$$\Delta\theta_{pc} = \frac{1}{12}\sum_{i=1}^{12} F_{max_i}$$

$$S(\dot{\Delta}\theta_p) = \sqrt{\frac{1}{11}\sum_{i=1}^{12}(F_{max_i} - \Delta\theta_{pc})^2}$$

$$\Delta\theta_p = \Delta\theta_{pc} + 2\cdot S(\dot{\Delta}\theta_p)$$

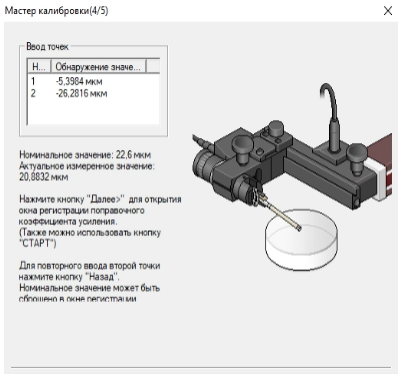
$$S(\Delta\theta_p) = \frac{\Delta\theta_p \cdot V_{max} \cdot 100}{2 \cdot t \cdot n}$$

$$S(\Delta\theta_p) = 1\cdot 10^{-3}\cdot \Delta\theta_p \cdot V_{max}$$

$$V_c = \frac{\overline{F}_{max} - F_{max_д}}{F_{max_д}} \cdot 100$$

Действие программного модуля

Позволяет выбрать наиболее оптимальные точки касания щупа к детали в зависимости от материала детали и ее диаметра



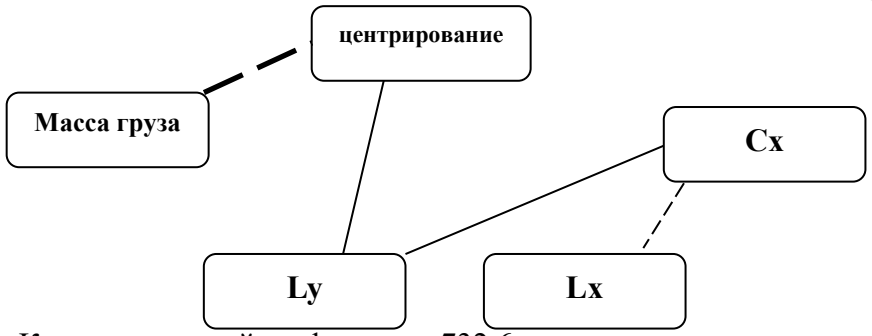
Применение фильтра Гаусса и критерия Спирмена для математической модели, они подтвердили зависимость

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

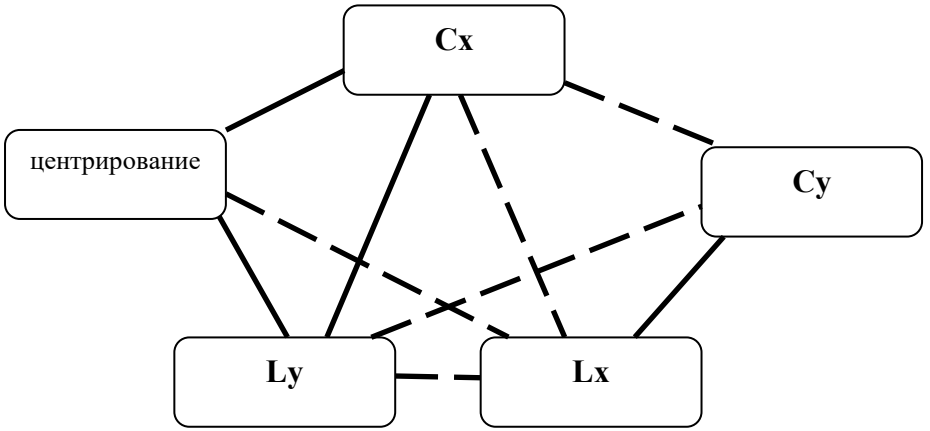
Базирование детали достигается по сумме квадратов ошибки в узловых точка по критерию Чебышева x и y-выявленные точки на кругломере, X и Y – точки касания щупом

$$J = \sum_{i=1}^{n} (F(x_i) - y_i)^2$$

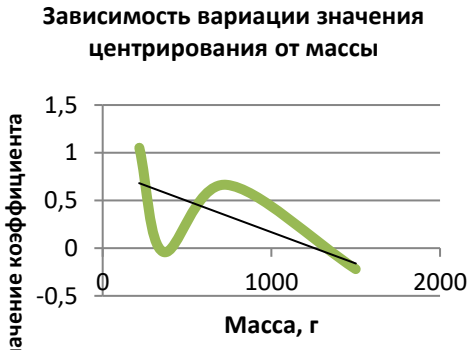
Для мат.анализа принята зависимость $\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum d^2}{n(n^2-1)}$,выявивший функции компенсации САУ кругломера

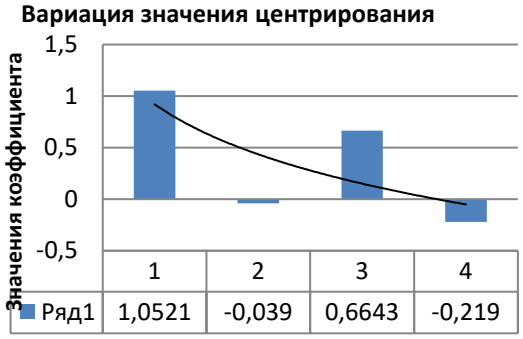


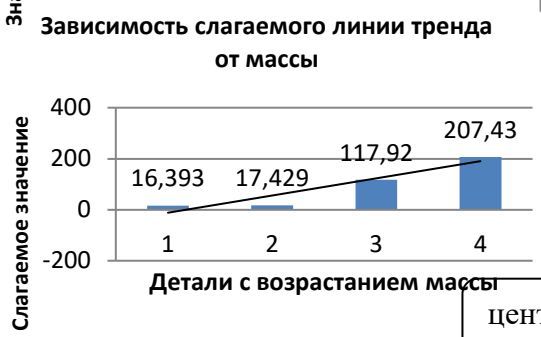
Корреляционный граф, деталь 732,6 гр - 95,98 мм, расположение груза на Cx



Корреляционный граф, деталь 216,65 гр - 70,40 мм, расположение груза на Cx



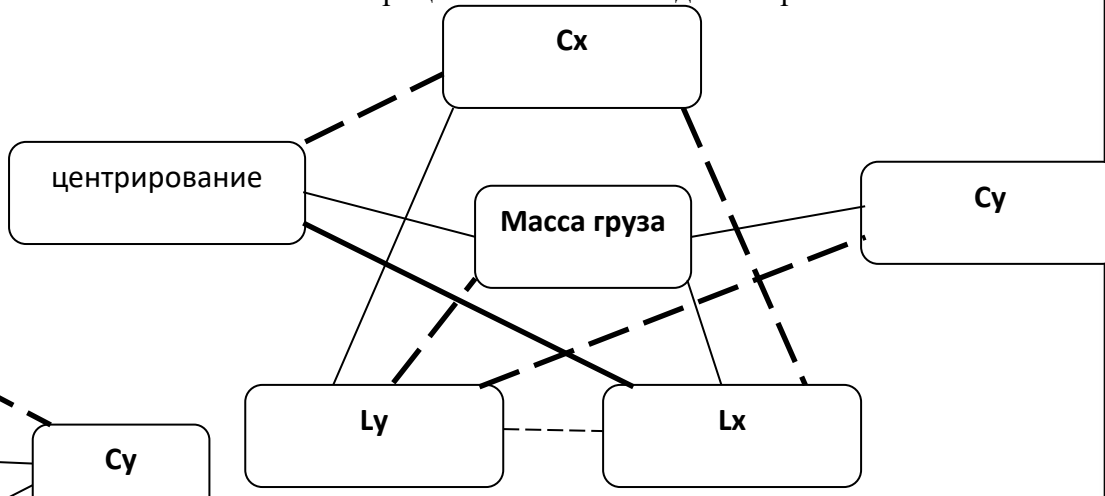


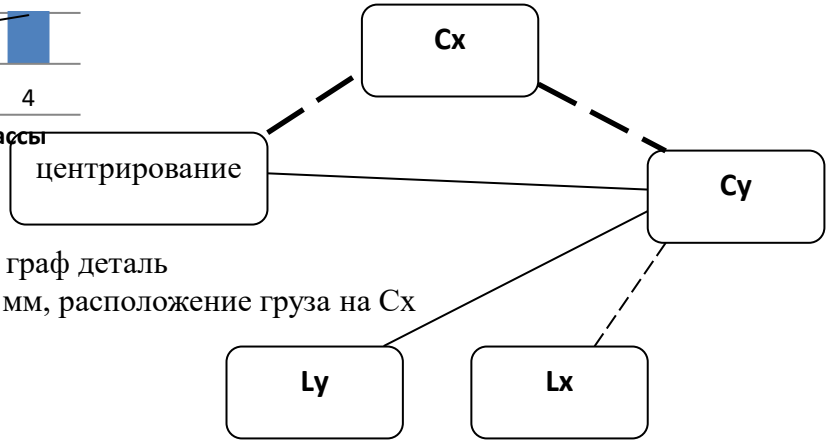


отрицательные умеренные достоверные связи.

положительные сильные достоверные связи,

отрицательная сильная достоверная связи.

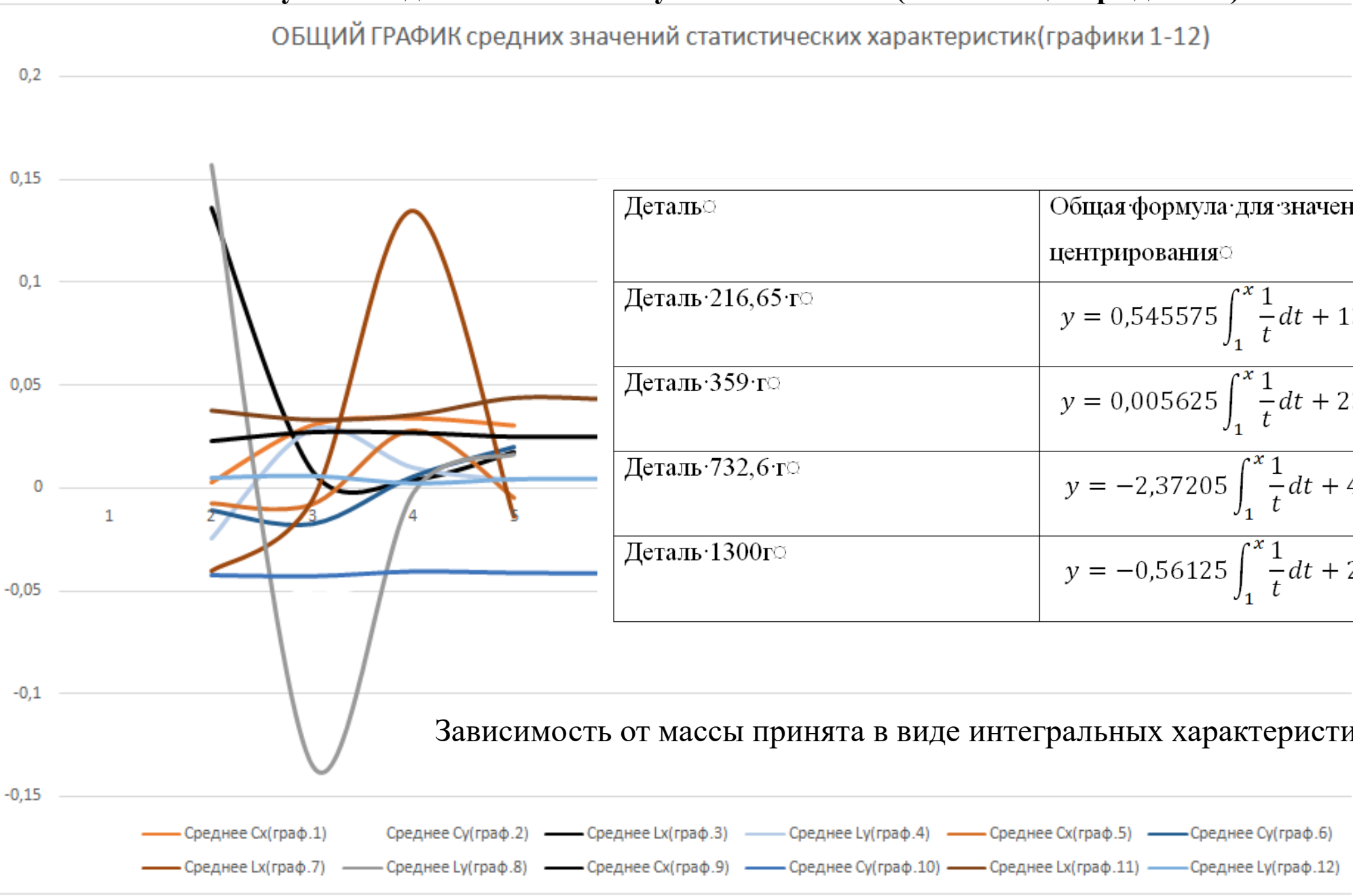




Корреляционный граф деталь 216,65 гр - 70,40 мм, расположение груза на Cx

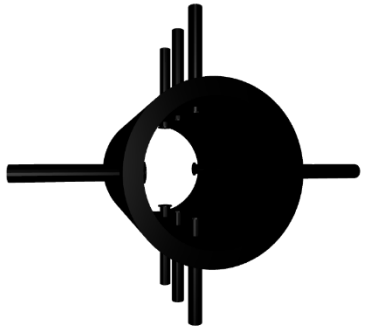
Корреляционный граф, деталь 732,6 гр - 95,98 мм, расположение груза на Cx

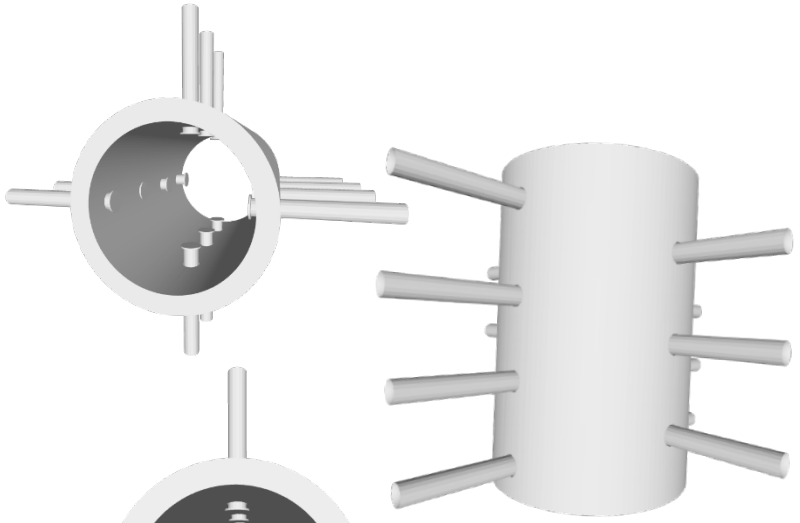
Результаты данных по эталону осевого биения (эталон в центре детали)



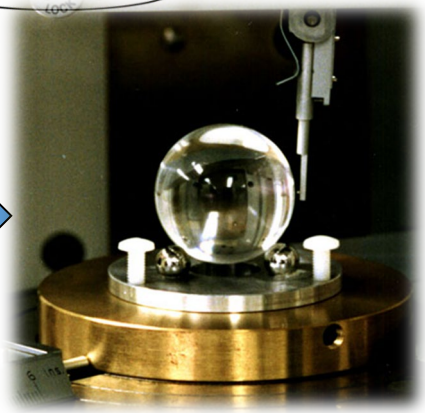
Деталь	Общая формула для значения центрирования
Деталь 216,65 г	$y = 0{,}545575 \int_1^x \frac{1}{t} dt + 13{,}37595$
Деталь 359 г	$y = 0{,}005625 \int_1^x \frac{1}{t} dt + 23{,}85675$
Деталь 732,6 г	$y = -2{,}37205 \int_1^x \frac{1}{t} dt + 47{,}3935$
Деталь 1300г	$y = -0{,}56125 \int_1^x \frac{1}{t} dt + 208{,}305$

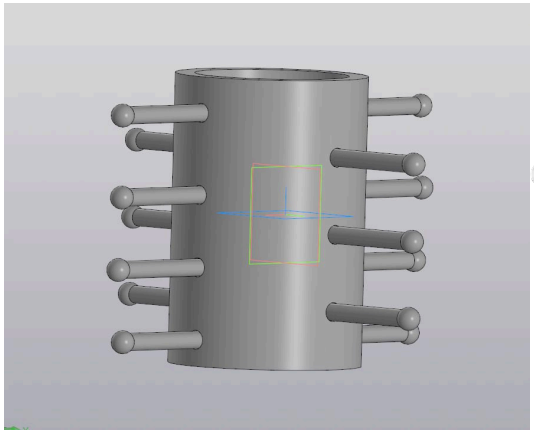
Зависимость от массы принята в виде интегральных характеристик

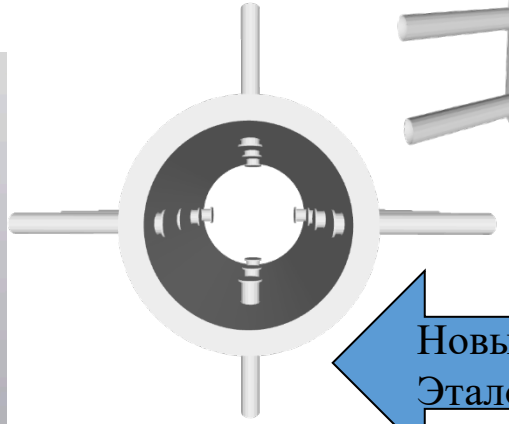




Старый тип Эталона







Новый тип Эталона

Итак, движение выходного вектора А сканирующей системы (кватернион элемента сканирования) можно представить в виде

$$\overline{A} = \sum_{m=1}^{N} (\overline{Q_m}) \cdot (\overline{A_m}) \cdot (Q_m), \qquad (8)$$

где $Q_m = \cos\frac{\varphi_m}{2} + \cos\Delta(\overline{e_m} \cdot \overline{i_1}) \cdot \sin\frac{\varphi_m}{2} i + \cos\Delta(\overline{e_m} \cdot \overline{i_2}) \cdot \sin\frac{\varphi_m}{2} j + \cos\Delta(\overline{e_m} \cdot \overline{i_1}) \cdot \sin\frac{\varphi_m}{2} k$, где

$\overline{Q_m}$ – сопряженный кватернион Q_m

$\overline{A_m}$ – промежуточный входной вектор элемента сканирования

N – количество элементов сканирования в системе

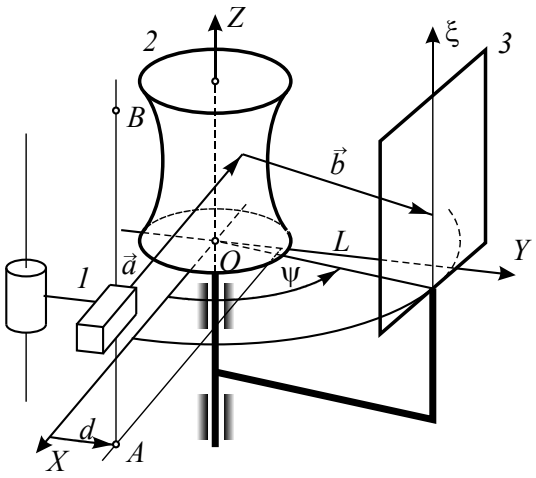
$\overline{e_m}$ – единичные орты

$\frac{\varphi_m}{2}$ – половина угла поворота элемента сканирования

2 гипотеза

Разработанная концепция помехозащищенного бесконтактного оптического датчика позволяет ускорить контроль партии деталей и повысить точность измерения, что в отличие от известных конструкций, обеспечивает сходимость и воспроизводимость измерений в условиях внешних шумовых воздействий;

Анализ схемы работы кругломера показал необходимость интеграции части функций контактного кругломера в бесконтактные модели



Оптико-механическая схема оптического кругломера :

1 - источник излучения; 2 - контролируемая поверхность; 3 - видеокамера; AB, C направления сканирования;

a, b - падающий и отраженный лучи света; ψ, ξ - координаты точки падения отраженного луча на фотоприемнике; d - смещение источника излучения; L - радиус поворота каретки с видеокамерой

Для улучшения фильтрации полученных данных необходимо применить кинематические уравнения и дополнить их динамическими уравнениями вращательного движения твердого тела в системе координат, связанной с телом, и центр которой находится в центре инерции тела.

$T\omega + \omega \times T\omega = M$,

где: T — тензор инерции твердого тела,

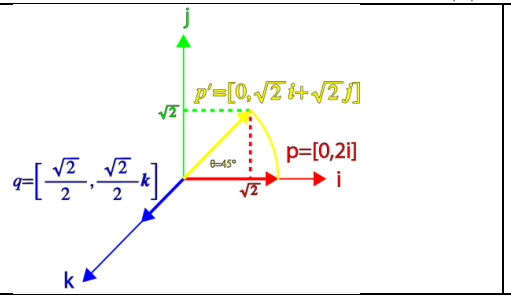
ω — угловая скорость,

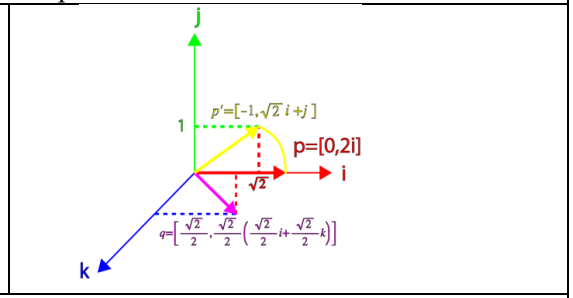
M — момент внешних сил приложенных к телу.

Далее получим систему из трех уравнений

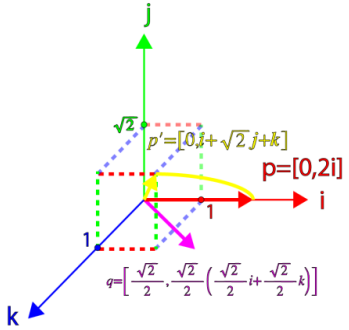
$$\begin{cases} T\omega + \omega + T\,\omega = M \\ \lambda_0 = -\ 12\ (\omega,\lambda) \\ \lambda_0 = -\ 12\ (\omega\lambda 0 - \omega\cdot\lambda) \end{cases}$$

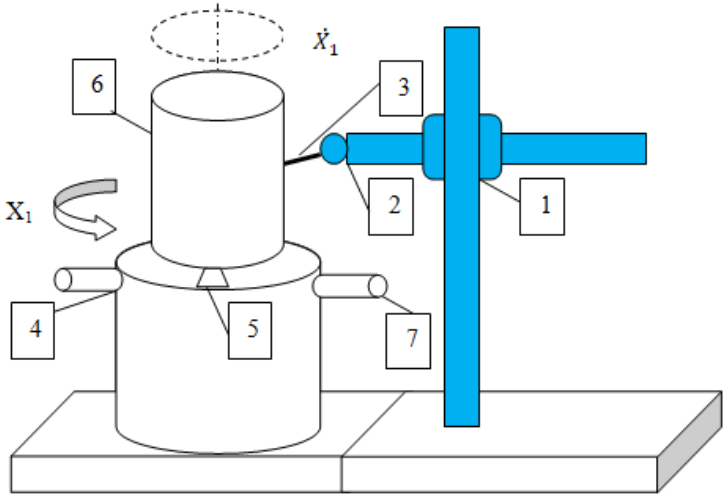
До поворота





После поворота





Подвижные кинематические узлы контактного кругломера Roundtest RA :

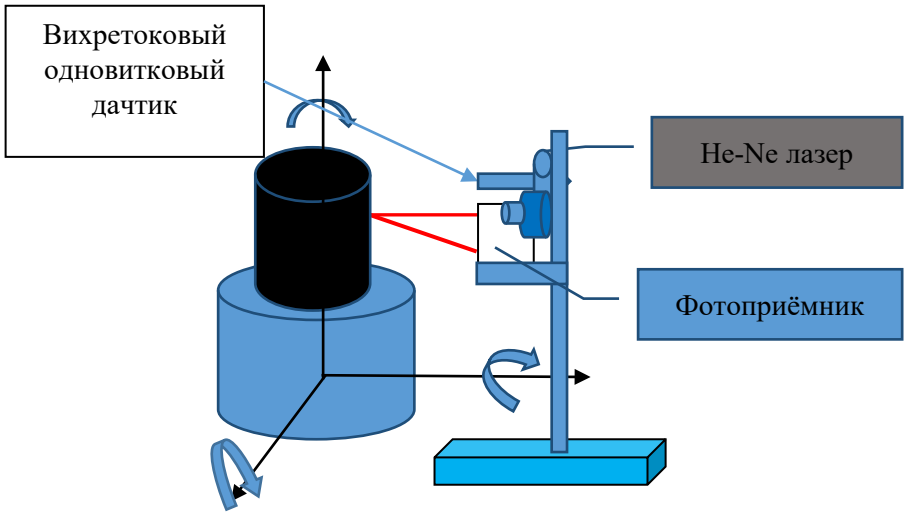
1-Подвижная консоль X и Z осей, 2 подвижный элемент удержания датчика 3 – подвижный щуп датчика 4 – воздушные подшипники с пнеомосистемой ркругломера 5 – трехкулачковый подвижный патрон, 6 – подвижная деталь, емеющая угловое ускорение при вращении стола X_1 и центр смещения масс G, 7 – подвижные микрометрические винты, имеющие возможность выравнивать оси CX, CY, LX, LY.

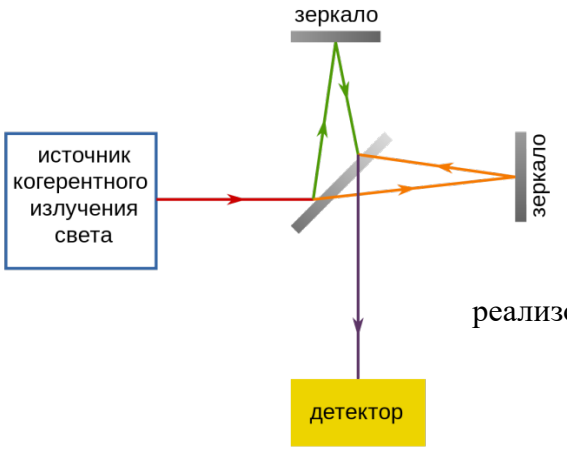
В процессе проведения измерения исследуется две поверхности – номинальная, заложенная конструктором и реальная, та, которая получилась в результате обработки детали на станке. Эти две поверхности имеют определенное рассогласование друг относительно друга.

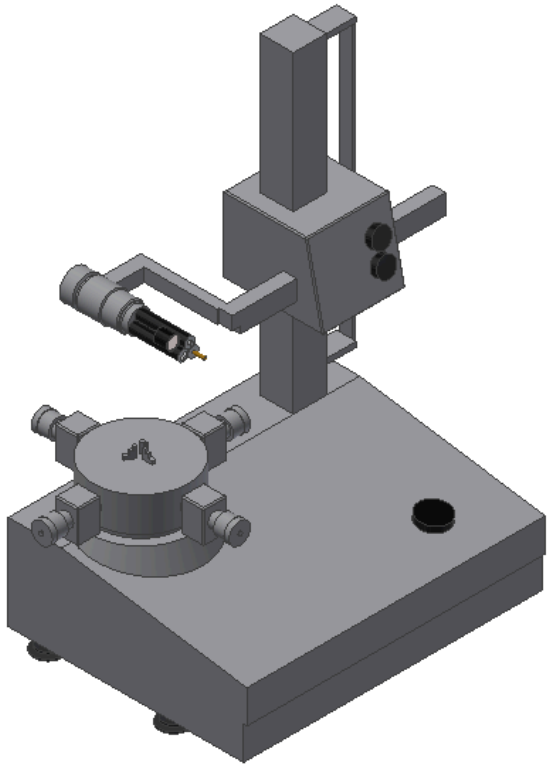
Взаимная статистическая независимость двух процессов (сравнение номинального и реального профиля) преобразовывает одну функцию в произведение пары функций одномерной спектральной плотности:

$$f(\omega_1, \omega_2) = f_1(\omega_1) f_2(\omega_2), (5)$$

где ω_1, ω_2 - пространственные частоты вдоль профилей, совпадающих с координатными линиями криволинейного базиса, соответственно, $l = R\varphi$ и χ (поперек номинальной поверхности — это осевое сечение).



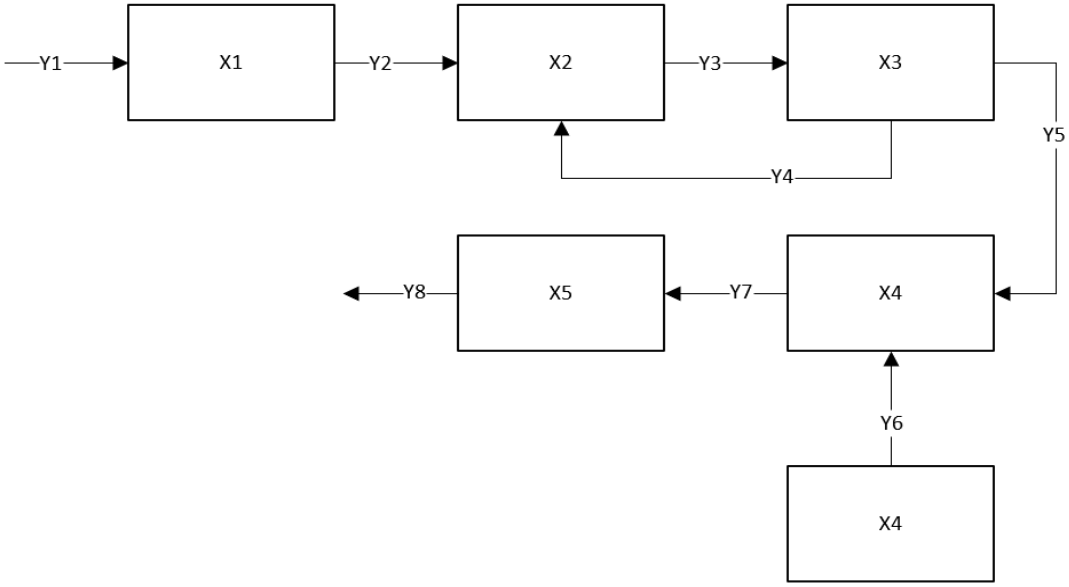




реализован новый метод измерения

Принцип установки лазерно-вихретокового датчика на кругломер

Медный щуп X1 передает электрический сигнал по проводу Y2 на аналоговую-измерительную схему X2, затем электрический сигнал передается по проводу Y3 на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) X3, имеющий обратную связь в виде электрического сигнала по проводу Y4 с аналоговой-измерительной схемой X2, после чего по проводу Y5 передается электрический сигнал в микропроцессор X4, к которому подключен по проводу Y6 блок питания X4, от микропроцессора X4 исходит электрический сигнал по проводу Y7 к цифро-аналоговому преобразователю X5, который передает электрический сигнал по проводу Y8 к измеряемой детали и через воздушное пространство Y1 передается сигнал на медный щуп X1.



Помехоподавляющая схема основана на применении последовательных фильтров сглаживания и введения модуляции в момент внешних факторов – засвет, приближение оператора

3 гипотеза

Многомерный метод автоматического управления процессом сканирования для информационно-измерительной системы обеспечивает точность сканирования в заявленном диапазоне, высокую скорость диспетчерского управления процессом на ПК, что в отличие от известных программ имеет возможность интегрироваться с интерфейсом как вихретокового, так и емкостного и оптического преобразователя;

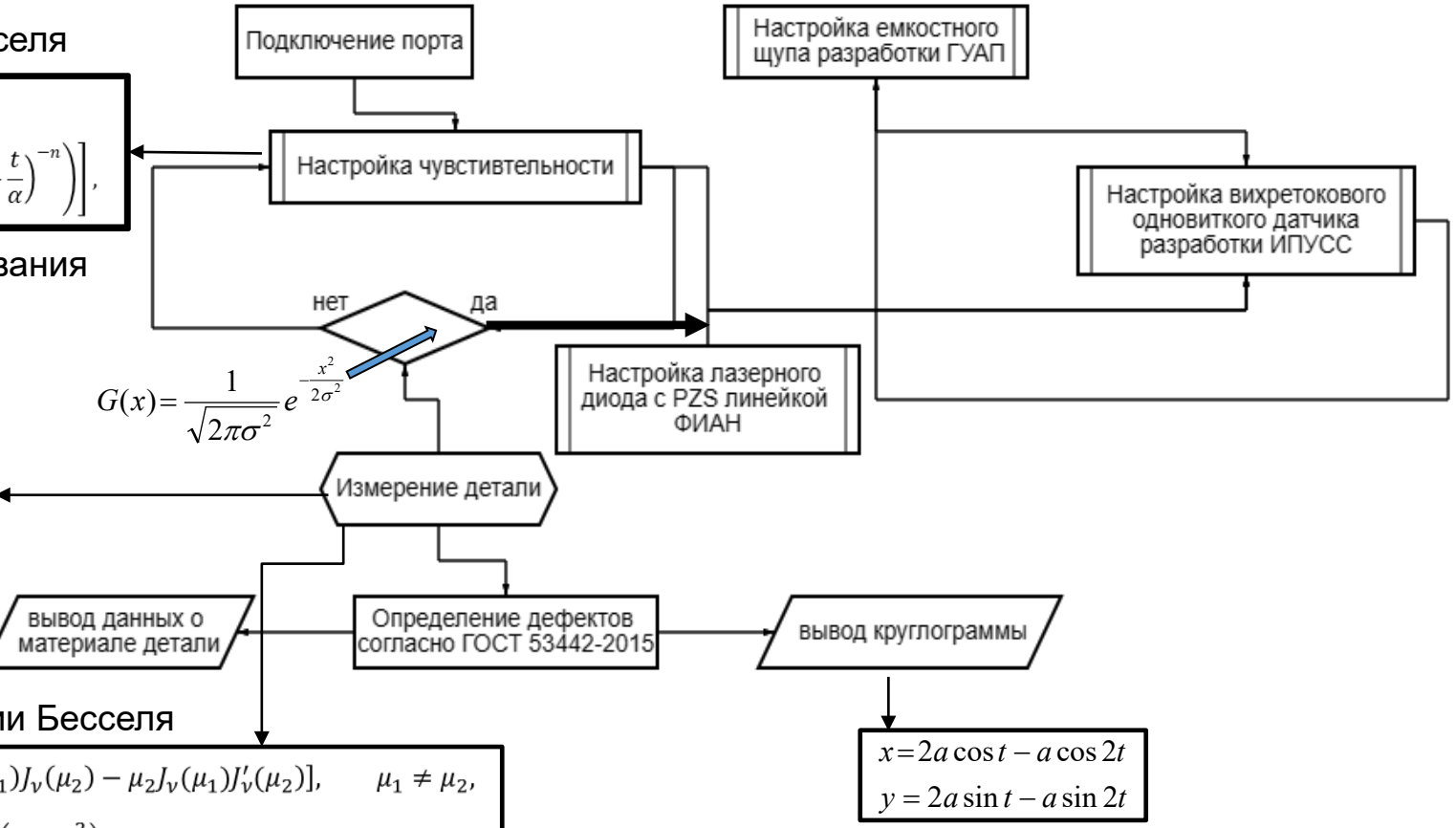
Интегральные представления Бесселя

$$exp\left[\left(t-\alpha^2 t^{-1}\right)\frac{z}{2}\right] = \sum_{n=-\infty}^{\infty}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^n J_n(\alpha z) = J_0(\alpha z) + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(\alpha z)\left[\left(\left(\frac{t}{\alpha}\right)^n + \left(-\frac{t}{\alpha}\right)^{-n}\right)\right],$$

Контурный интеграл для формирования замкнутой петли

$$2\pi i J_\nu(\alpha z) z^\nu \int_{-\infty}^{(0+)} exp\left[\frac{\alpha(t-z^2t^{-1})}{2}\right] t^{-\nu-1}dt = \left(\frac{z}{2}\right)^\nu \int_{-\infty}^{(0+)} exp\left[\alpha\left(t-\frac{z^2t^{-1}}{4}\right)\right] t^{-\nu-1}dt,$$

$$Re\ \alpha > 0, |argt| \le \pi$$



Ортогональность функции Бесселя

$$\int_0^\infty tJ_\nu(\mu_1 t)J_\nu(\mu_2 t)dt = \begin{cases} \frac{1}{\mu_1^2-\mu_2^2}[\mu_1 J'_\nu(\mu_1)J_\nu(\mu_2) - \mu_2 J_\nu(\mu_1)J'_\nu(\mu_2)], & \mu_1 \neq \mu_2, \\ \frac{1}{2}[J'_\nu(\mu_1)]^2 - \frac{1}{2}\left(1-\frac{\nu^2}{\mu_1^2}\right)[J_\nu(\mu_1)]^2, & \mu_1 = \mu_2. \end{cases}$$

$$x = 2a\cos t - a\cos 2t$$
$$y = 2a\sin t - a\sin 2t$$

Формула Гаусса и параметрическая запись кардиоиды для кругломера

Алгоритм разработанной программы для отслеживания отклонения геометрии детали, поиска дефекта формы

Используем функцию для адаптации программы к поступающим сигналам с датчика.

$$exp\left[(t-\alpha^2 t^{-1})\frac{z}{2}\right]=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^n J_n(\alpha z)=J_0(\alpha z)+\sum_{n=1}^{\infty}J_n(\alpha z)\left[\left(\left(\frac{t}{\alpha}\right)^n+\left(-\frac{t}{\alpha}\right)^{-n}\right)\right], \qquad (1)$$

Применяя теорему о вычетах к формуле (1),

получаем: $2\pi i J_n(\alpha z)=\alpha^n\int_C t^{-n-1}exp\left[\left(t-\frac{\alpha^2}{t}\right)\frac{z}{2}\right]dt,\ n=0,1,2,\ldots$ (2)

Здесь C является любым простым замкнутым контуром в плоскости t, охватывающим начало координат. Если положить в равенстве (2) $\alpha=1$ и выбрать в качестве C единичную окружность с центром в начале координат, $t=e^{i\varphi}$, получаем:

$$2\pi J_n(z)=\int_0^{2\pi}e^{i(z\sin\varphi-n\varphi)}d\varphi=2\int_0^{\pi}\cos(z\sin\varphi-n\varphi)d\varphi, \qquad n=0,1,2,\ldots \qquad (3)$$

Наше условие в работе прибора - для любых значений порядка ν могут быть представлены с помощью контурных интегралов. Пусть α – комплексное число, такое, что $Re\,\alpha>0$; тогда мы имеем представление:

$$2\pi i J_\nu(\alpha z)z^\nu\int_{-\infty}^{(0+)}exp\left[\frac{\alpha(t-z^2t^{-1})}{2}\right]t^{-\nu-1}dt=$$

$$=\left(\frac{z}{2}\right)^\nu\int_{-\infty}^{(0+)}exp\left[\alpha\left(t-\frac{z^2t^{-1}}{4}\right)\right]t^{-\nu-1}dt, \qquad Re\,\alpha>0, |arg t|\le\pi \qquad (4)$$

Здесь символ $\int_{-\infty}^{(0+)}$ обозначает, как обычно, интегрирование вдоль контура, который начинается в бесконечности на отрицательной вещественной t-полуоси, обходит начало координат против часовой стрелки и возвращается в исходную точку

Для измерений смещения поверхности при вращении необходимо отслеживать число колебаний полезного сигнала. Это можно описать уравнением вида:

$$\sqrt{I_{\text{опора}}\, I_{\text{сигнал}}}\cos(\Delta\varphi) = 0 \qquad (10)$$

Решение этого уравнения приводит к выражению для фазового сдвига:

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} + m\pi, \qquad (11)$$

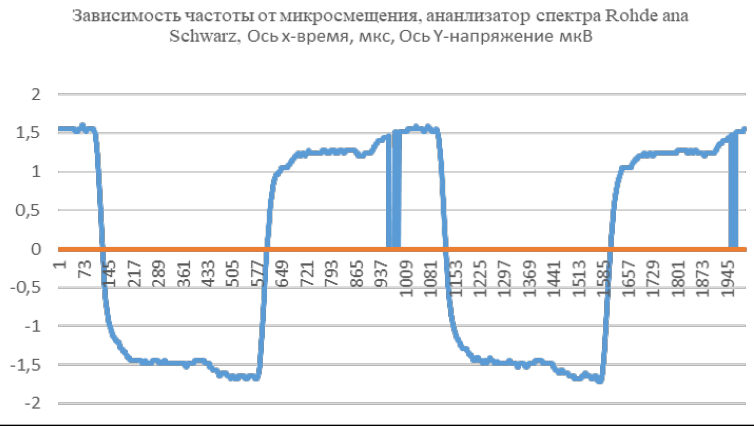
где m – целое число.

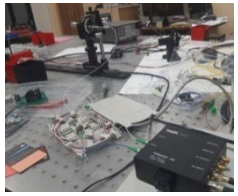
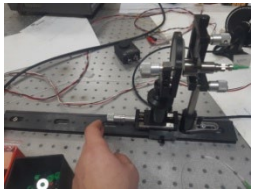
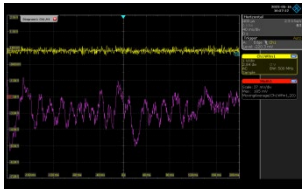
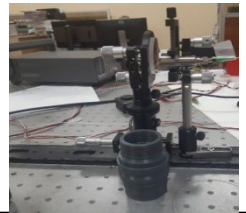
Смещение поверхности можно выразить через разность фаз следующим выражением:

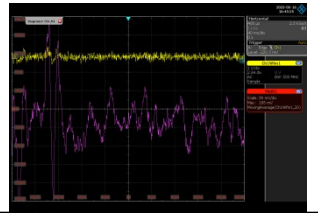
$$\Delta L = p\frac{\lambda}{4}, \qquad (12)$$

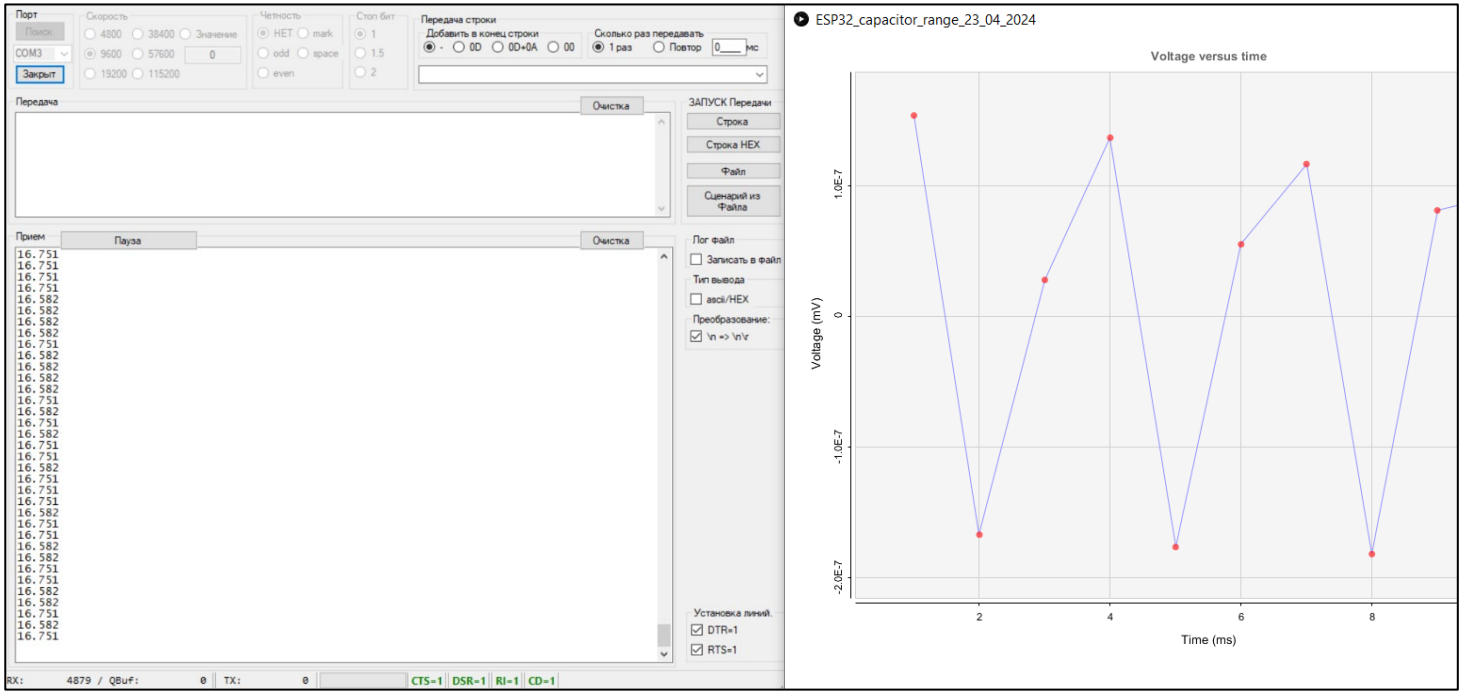
где p – зарегистрированное число пересечений сигналом нулевого уровня, λ – длина волны лазерного излучения.

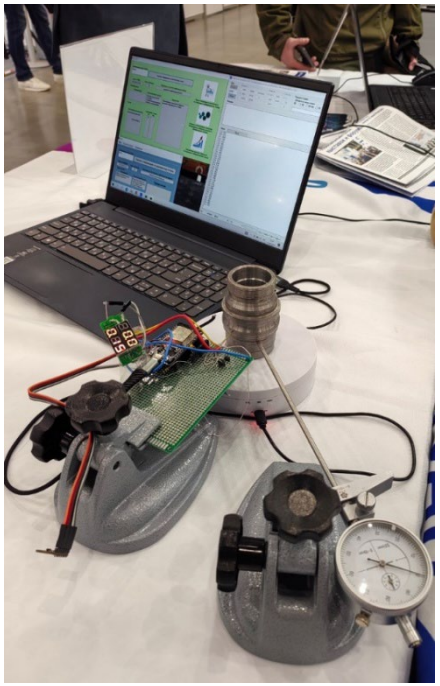
Улучшена схема лазерного дальномера В схеме использован оптический циркулятор Thrlabs F810APC-1550 и волоконно-оптические компоненты LightComm. В качестве фотоприёмника использован балансный детектор Thorlabs PDB 425C-AC.









Разработанная программа для отслеживания отклонения геометрии детали, поиска дефекта формы

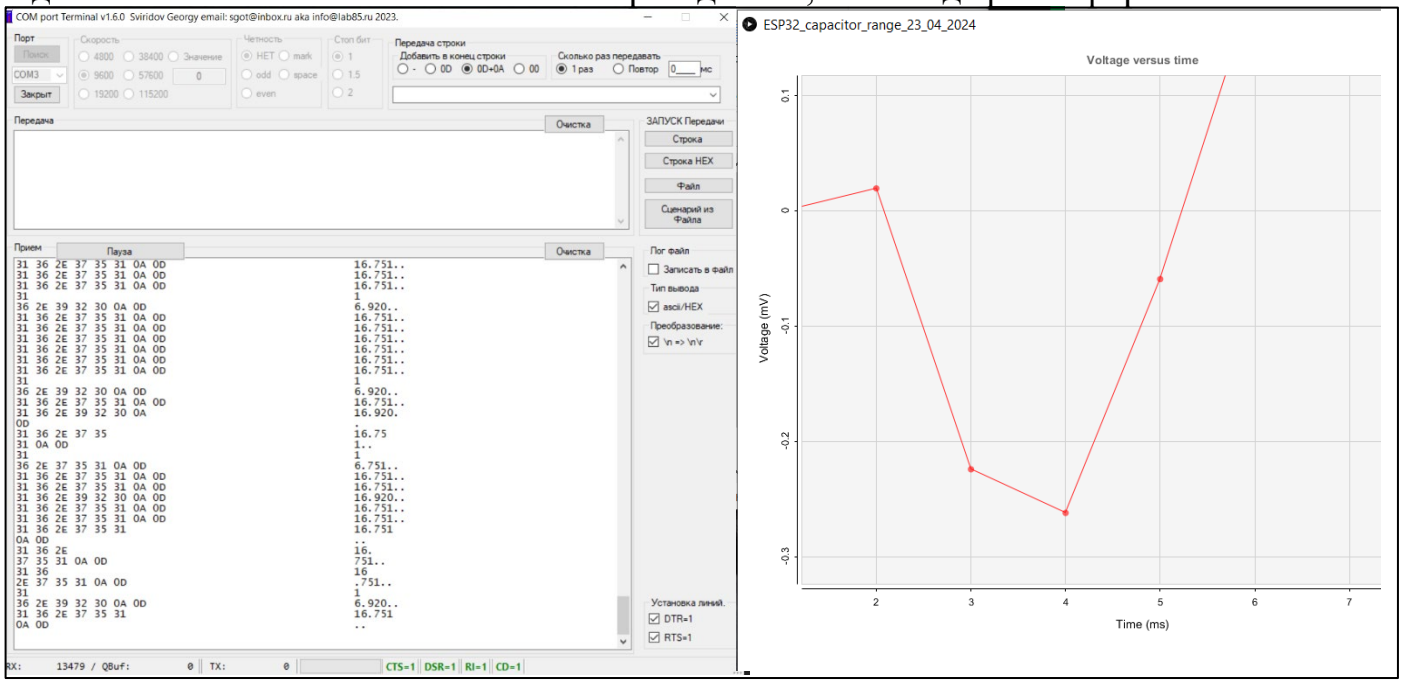
погрешность измерений параметра δ, определяется по формулам:

$$n = \sqrt{2\pi x}\exp(\frac{x^2}{2}); d\delta = \frac{2{,}6 - x}{2{,}6}$$

где

x – случайная величина,

dδ – относительная погрешность измерений плоскостности, круглости, цилиндричности



4 гипотеза

Экспоненциальные зависимости погрешности от режимов обработки информации способствуют улучшению обработки сигналов в диапазоне 100-150 МГц при осциллографировании и применении LCR-метрической линейки отечественных приборов, что в отличие от известных методов, позволяет повысить точность и импортозамещенность процесса

соответсвует п. 4 паспорта научной специальности «Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для систем технического контроля и диагностирования материалов, изделий, веществ и природной среды, экологического мониторинга природных и техногенных объектов, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению экологической безопасности окружающей среды»

$$x_0 = \frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

где n - число измеренных точек профиля изделия;
x_i,y_i - декартовые координаты измеренных точек профиля изделия;
r_i - радиусы измеренных точек профиля изделия.

цилиндр , исследуемый на кругломере, описывают тригонометрическим полиномом:

$$r = r_0 + e\times\cos(\varphi-\gamma) + \sum_{i=t}^{p} a_i\cos(i\varphi-\gamma_i)$$

где r_0 – радиус средней окружности;
e, γ – амплитуда и начальная фаза основной гармоники;
a_i, γ_i – амплитуда и начальная фаза гармоник изделия.

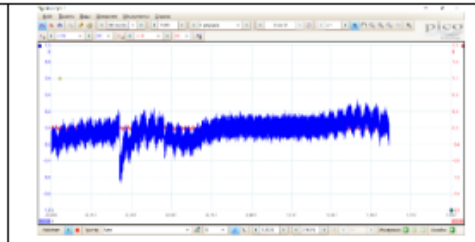
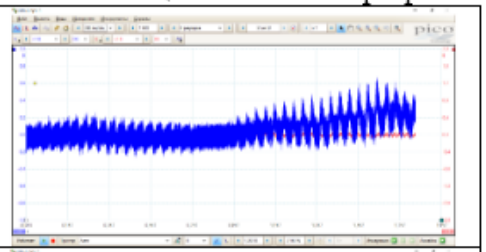
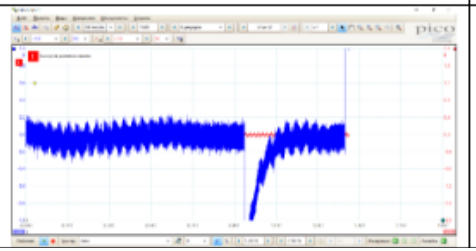
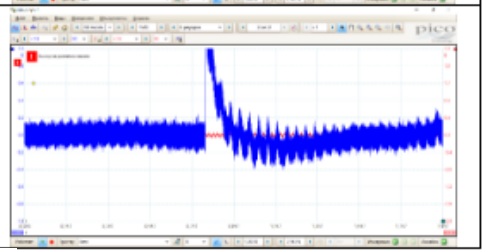
Разработанная модель представляет собой комплексную матрицу учета угла поворота и сглаживания входных помех с поправкой на отражающие свойства материала

$$Z_C\begin{bmatrix}\upsilon\\ \nu\\ 1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_\upsilon & 0 & \upsilon_0 & 0\\ 0 & f_\nu & \nu_0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\end{bmatrix}\begin{pmatrix} R & t\\ 0^T & 1\end{pmatrix}\begin{bmatrix}X_W\\ Y_W\\ Z_W\\ 1\end{bmatrix} = M_1M_2\begin{bmatrix}X_W\\ Y_W\\ Z_W\\ 1\end{bmatrix}$$

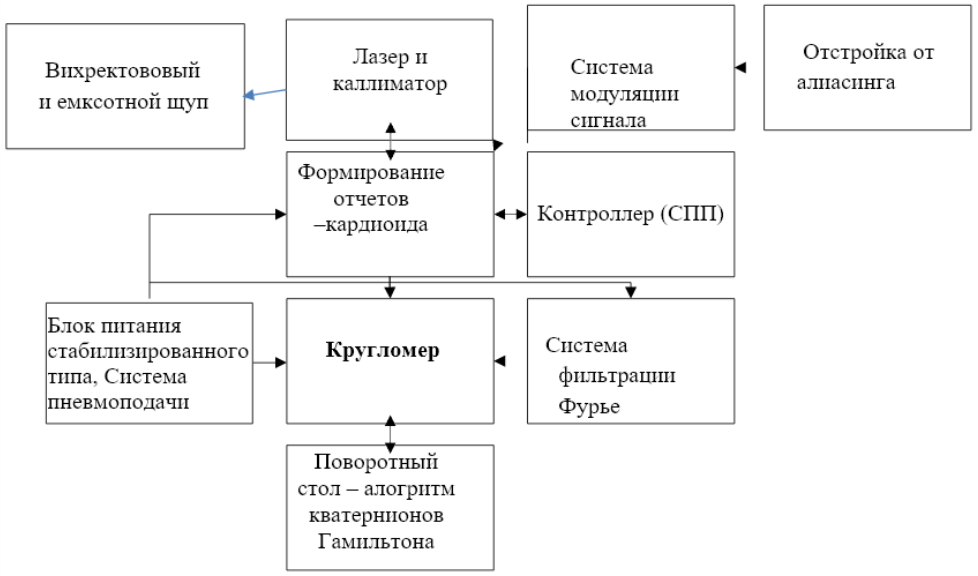
где
R - матрица поворота 3 × 3, t - матрица перемещения 3 × 1,
M1 - матрица параметров внутренней камеры,
M2 - матрица параметров внешней камеры,
f_u и f_v - эквивалентные фокусные расстояния в направлениях x и y, (u_0 и v_0) представляет координату главной точки на камера.
Пространственная точка p в системе координат камеры задается как p(XC, YC, ZC).
Предположим, что нормализованные проекционные координаты точки p равны p(x_n, y_n), а проекционные координаты точки p после добавления погрешности равны p(x_d,y_d);

Экспоненциальные зависимости погрешности от режимов обработки информации

Таблица 5 - АПК «Профиль»

CX=0 град		LX=180 град	
CY=90 град		LY=270 град	

Зависимость напряжения на лазере от передвижения по длине резьбы



Структурная модель работы кругломера

Это означает, что если в разные моменты времени мы обнаружили два последовательных пересечения, когда $I(L_1) = I(L_2) = I_1 + I_2$, то разность фаз сигналов в эти два соседних момента времени пропорциональна смещению объекта ΔL:

$$\Delta\varphi=\Delta\varphi_2-\Delta\varphi_1=2k\Delta L, \#(17)$$

Более того, в связи с периодичностью (16) можно сказать, что

$$\Delta\varphi_2-\Delta\varphi_1=\pm\pi, \#(18)$$

Используя (17) и (18), нетрудно получить следующее выражение:

$$\Delta L=\pm\frac{\lambda}{4}, \#(19)$$

где знак определяет направление смещения.

Если при наблюдении интерференции используется только пересечение функции с ее средним значением, то при перемещении объекта на расстояние, значительно превышающее период интерферометрической функции $\lambda/2$, и при фиксированном направлении смещения модуль смещения между двумя положениями L_1 и L_2 поверхности объекта может быть вычислен следующим образом:

$$|L_2-L_1|=\Delta L=p\frac{\lambda}{4}, \#(20)$$

где p – число зафиксированных пересечений функции с ее средним значением.

Улучшенная модель калибровки

11 мин

До введения нового до метода калибровки

15 мин

До использования новой методики время на калибровку составляло:

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 15 \text{ мин}$$

t_1 – время извлечения пленочного эталона – 1 мин;

t_2 – время процесса настройки консоли щупа кругломера – 4 мин;

t_3 – время подбора нужного градуса щупа – 6 мин;

t_4 – время проведения операции «центрирование/выравнивание» – 4 мин.

После внедрения нового варианта проведения подготовительных операций время сократилось:

$$t_1' + t_2' + t_3' + t_4' = 11 \text{ мин}$$

t_1' – время извлечения пленочного эталона – 1 мин;

t_2' – время процесса настройки консоли щупа кругломера – 4 мин;

t_3' – время подбора нужного градуса щупа – 1 мин;

t_4' – время проведения операции «центрирование/выравнивание» – 5 мин.

$$\Delta L_k = 1000 \cdot \frac{L_k \cdot L_k'}{F}$$

где

L_kL_k'- расстояние от точки до точки L_k',мм

$$\Delta R_k' = 1000 \cdot \frac{R' - C'L_k}{5000}$$

где

R' - радиус средней окружности, мм

C'L_k - расстояние от центра средней окружности до точки

$$J = \sum_{i=1}^{n} (F(x_i) - y_i)^2$$

где y_i -значение исходной функции в точке xi (табличное);

$F(x_i)$ -значение аппроксимирующей функции.

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

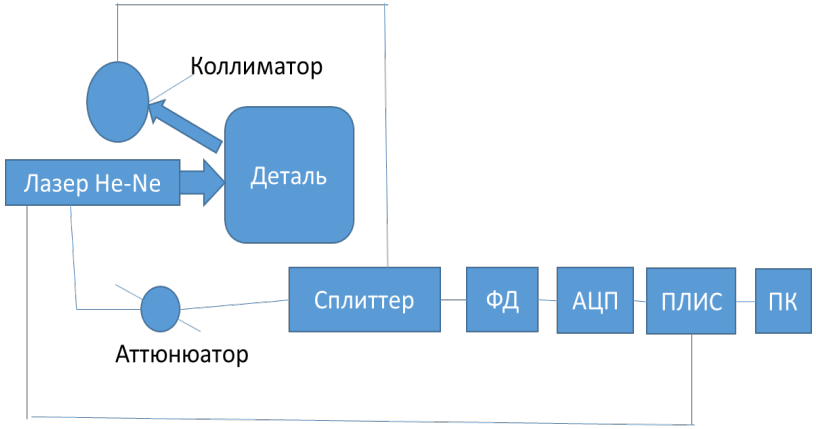
где

x, y — координаты точки,

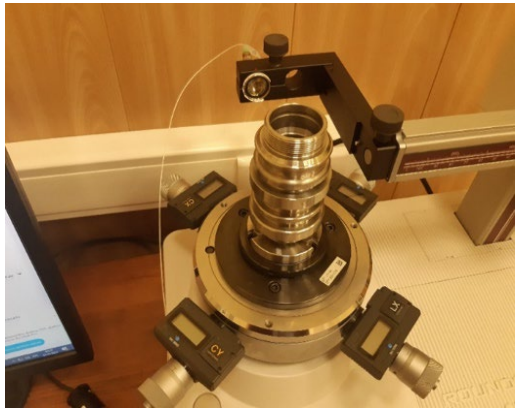
σ — среднеквадратическое отклонение нормального распредел

Созданная программа в комплексе с щупом способна противостоять негативному влиянию алиасинга и не зависит от освещенности помещения, в котором проводятся измерения лазерной установкой. Таким образом, за счет применения преобразования Фурье повышается помехоустойчивость системы, уменьшается количество потенциальных метрологических отказов, которые могут заключаться в некорректно подобранных режимах освещения, мерцания или совмещения работы данного лазерного устройства с другими аналогичными приборами.

В процессе исследования калиматорной установки с помощью лазера, был установлен лазер в держатель вместо контактного щупа. Далее с помощью делителя и охладителя, обратный сигнал от лазера, которой приводился в действие специальным блоком питания, поступал на осциллограф, в котором исследовалось разность отраженной волны, которая формировалась в лазере при вращении детали, установленной на кругломере. В первоначальный этап времени вращение было сконцентрировано возле осей LX, LY, CX, CY, поворот в каждой оси на 90 градусов детали. Результаты представлены в таблице ниже.



Оптическая схема интерферометра Майкельсона, волоконно-оптическая схема измерительного тракта

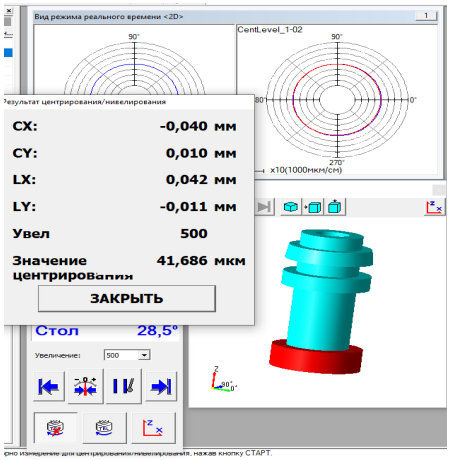


Установка с лазером вместо щупа

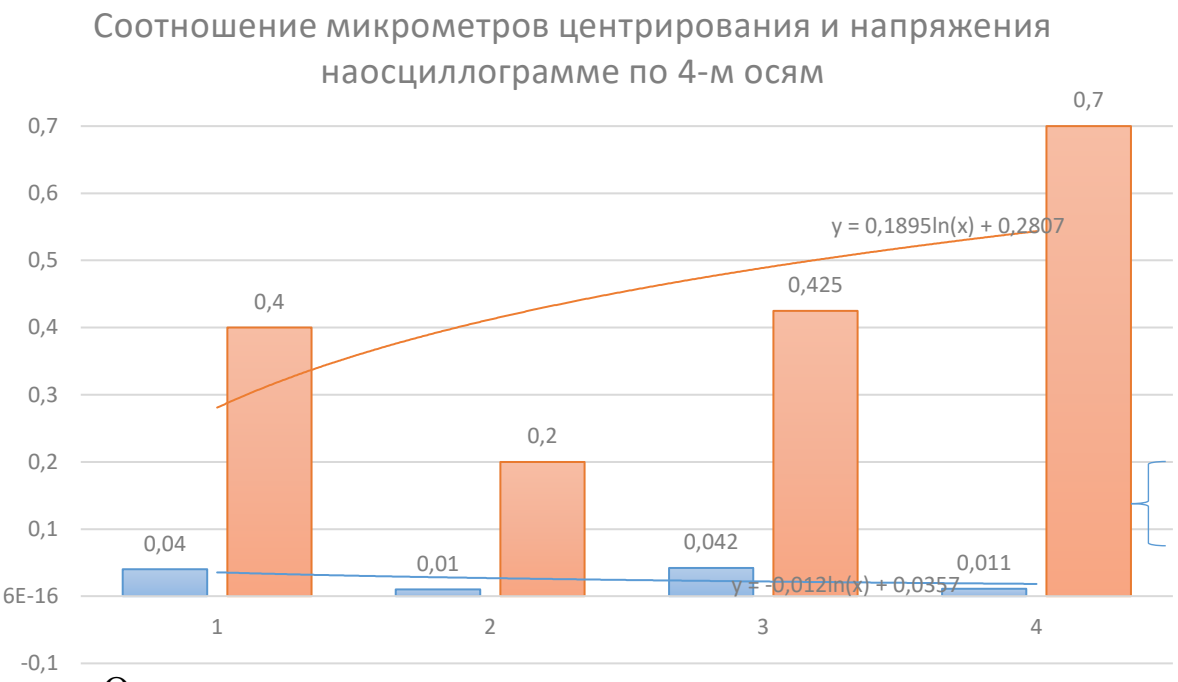
В данном случае можно предложить два варианта оценки дальности. Первый - применение гильбертова преобразования сигнала в целях получения его квадратурной компоненты и вычисление мгновенной частоты через известное соотношение

$$\omega=\frac{V'U-U'V}{V^2+U^2}, \#(21)$$

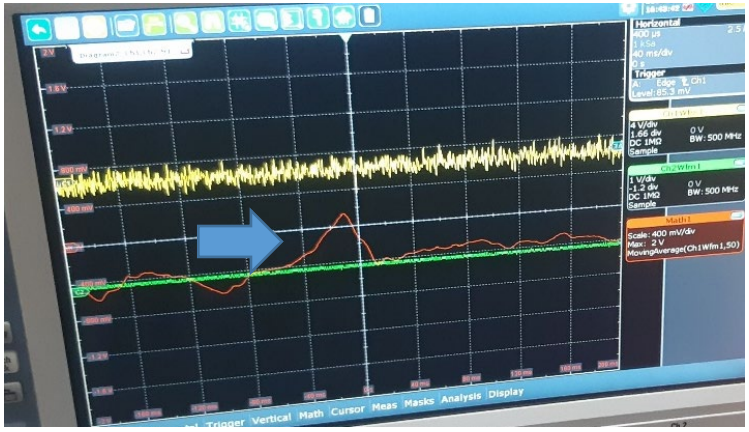
где U, U' и V, V' - действительная и мнимая компоненты аналитического сигнала и их производные по времени соответственно.

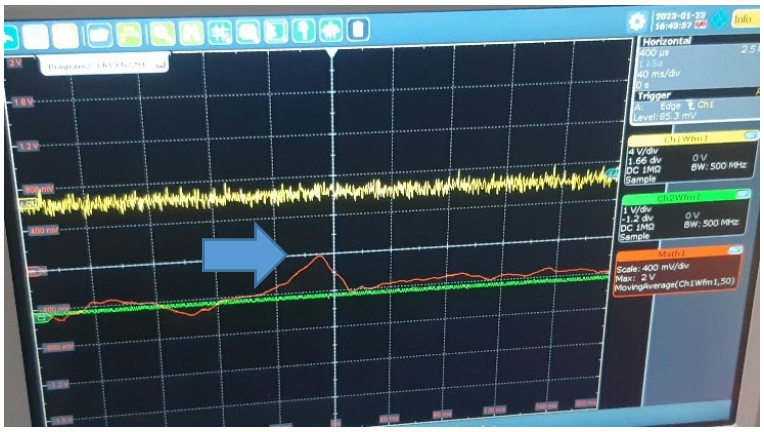


Экспоненциальные зависимости погрешности от режимов обработки информации

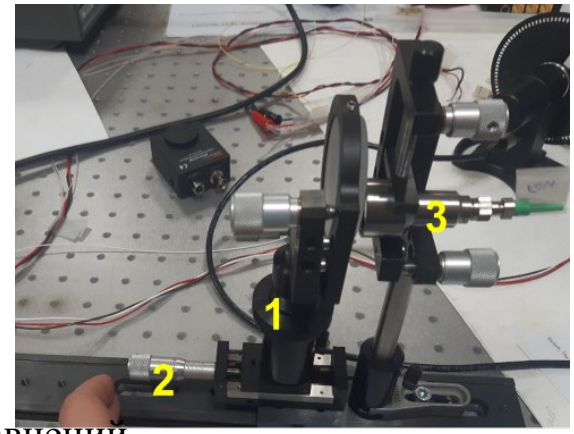


Оранжевым цветом отмечены средние значения напряжения на Осциллограмме лазерного датчика, Вольт.Светло-синим цветом отмечены средние значения центрирования-выравнивания на контактном датчике,мм





Показания осциллографа Rohde and Schwarz при смещении микрометрического винта на 0,05 мкм



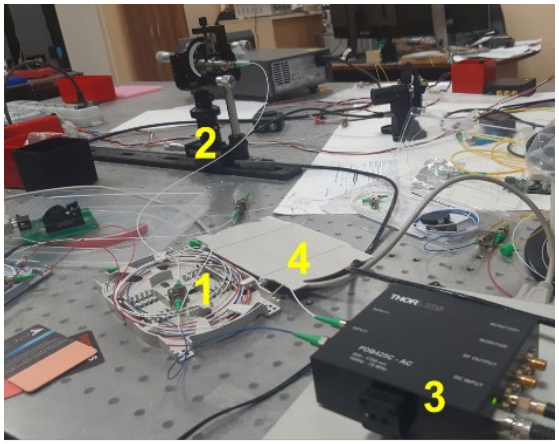
а

Решая систему уравнений

Y=0.1895ln(x)+0.2807

Y=0.012ln(x)+0.0357

Получаем $x=1/e^{1.38}$



б

Схема установки.
(а) 1, 4 – волоконно-оптический тракт, 2 – микрометрический винт с установленным коллиматором,
3 – фотоприёмник.
(б) 1 стойка с отражателем,
2 – микрометрический винт, 3 – коллиматор.

5 гипотеза

Универсальный метод подготовки и проведения контроля дефектов формы твердых тел вращения бесконтактным мультиплексным сканированием существенно экономит стоимость оборудования и обеспечивает мультипликативный эффект для снятия как размерных дефектов, так и учета свойства материала, что в отличие от известных методов, позволяет использовать мультиплексный щуп не только для измерения дефектов формы, но и анализа качества покрытия материала детали

Важно сказать, что на вихретоковые преобразователи также влияет множество погрешностей, которые могут значительно ухудшать качество сигнала.
Так авторы рассматривают теорию фракталов в качестве основной для выявления истинного сигнала. Фрактальный анализ временных рядов сводится к расчету фрактальной размерности, который может быть осуществлен путем определения значений показателя Хёрста (1) или индекса фрактальности (24) .

$$D = E - H, \tag{24}$$

где D – фрактальная размерность временного ряда, E – евклидова размерность задачи, H- показатель Херста.

$$D = Dt + \lambda \tag{25}$$

где D – топологическая размерность, λ– индекс фрактальности.
Существуют около 20 способов расчета показателя Херста, рассмотрим один из наиболее распространенных в литературе – метод R/S анализа .
Существуют около 20 способов расчета показателя Херста, рассмотрим один из наиболее распространенных в литературе – метод R/S анализа .
Пусть ξ(t) – исследуемая последовательность данных датчика при ∈ [1,τ]. Для того, чтобы рассчитать показатель Херста временного ряда ξ(t) необходимо,
Вычислить среднее значение массива ξ(t) за время:

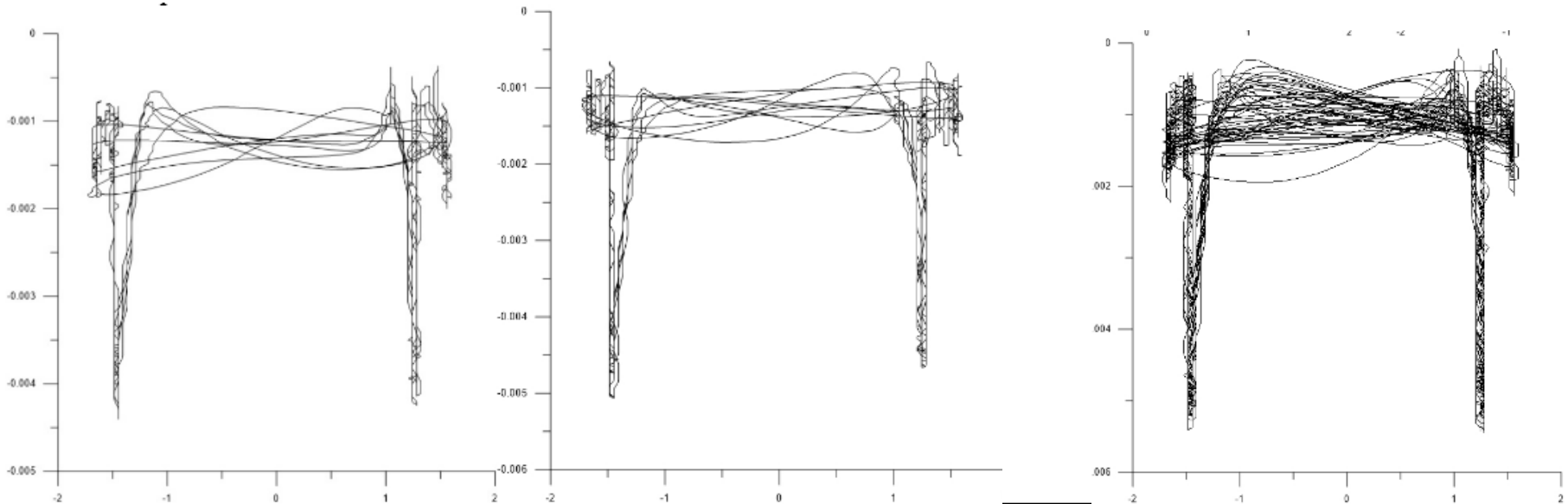
$$\xi(t)_{cp} = \frac{1}{\tau}\sum_{1}^{\tau} \xi(t) \tag{26}$$

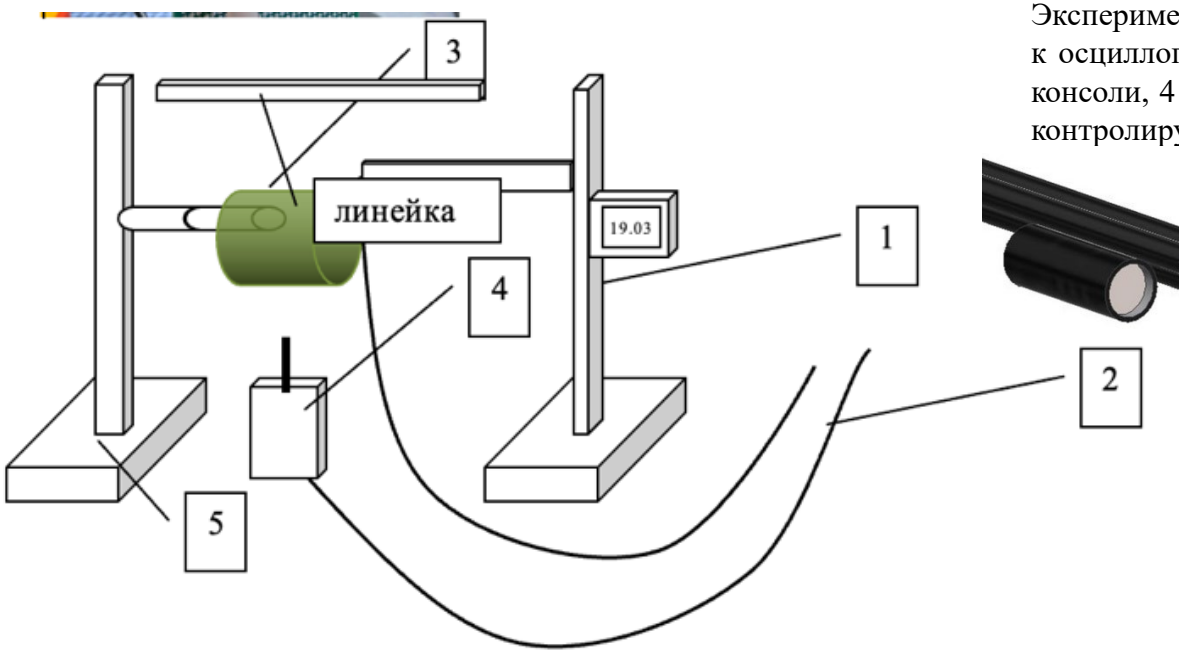
Построить на координатной плоскости зависимость ln(R/S) от ln(τ), методом наименьших квадратов определить угол наклона аппроксимирующей прямой к положительному направлению оси абсцисс.
Данный угол будет равен значению показателя H. Хёрста. Рис. 2. Пример расчета показателя Херста методом R/S анализ

Г.Э. Хёрстом было установлено следующее соотношение:

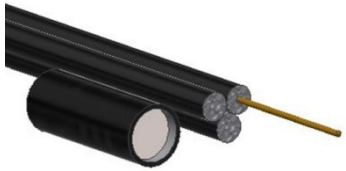
$$\frac{R(\tau)}{S(\tau)} \approx \tau^{H}$$

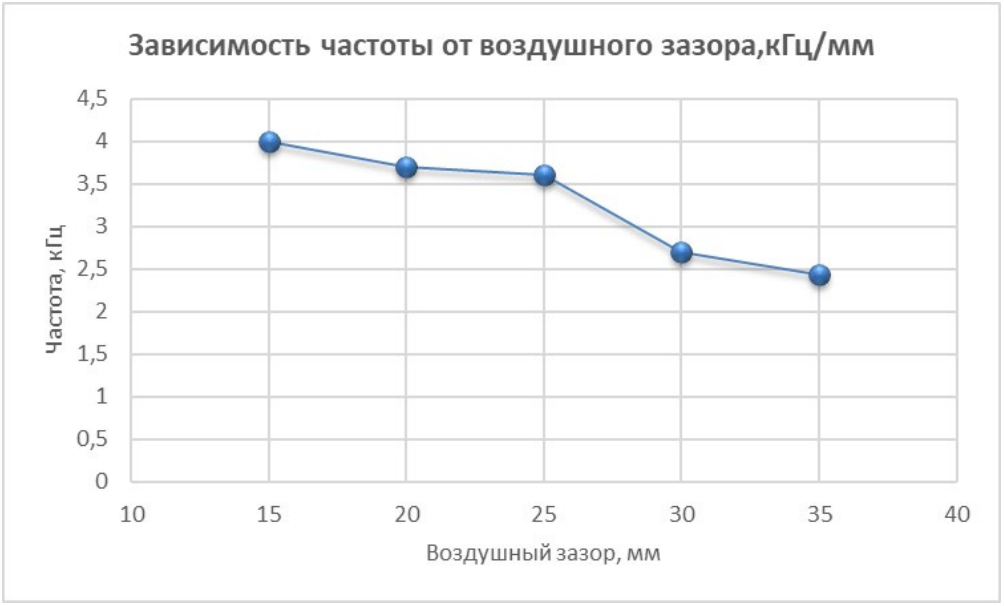
Результат измерения лазерным дальномером представлен ступенчатого вала из дюралюминия д16Т



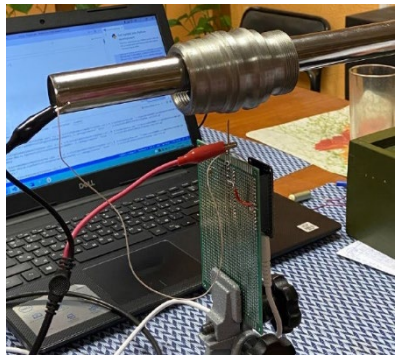


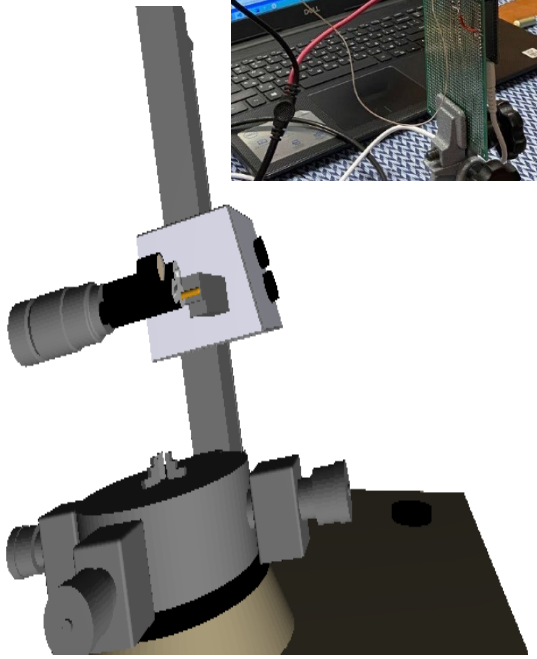
Экспериментальная установка: 1 – Штангенрейсмас, 2 – провода к осциллографу или частотомеру, 3 – контролируемая деталь на консоли, 4 – емкостный датчик с латунным щупом, 5 – Стойка с контролируемой высотой консоли.

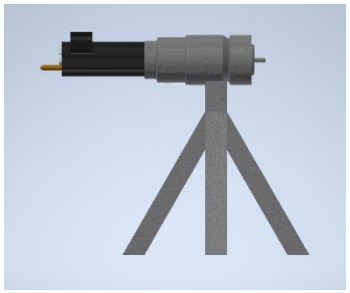




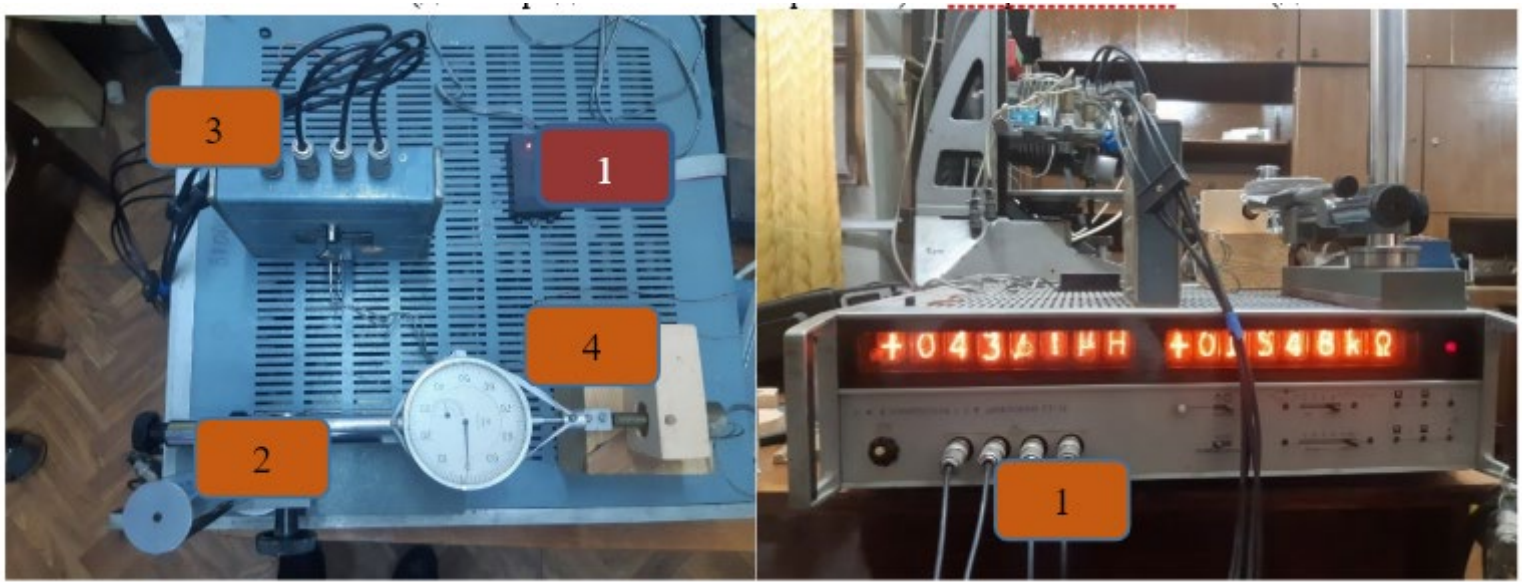
Выявленная зависимость при измерении детали на частотомере



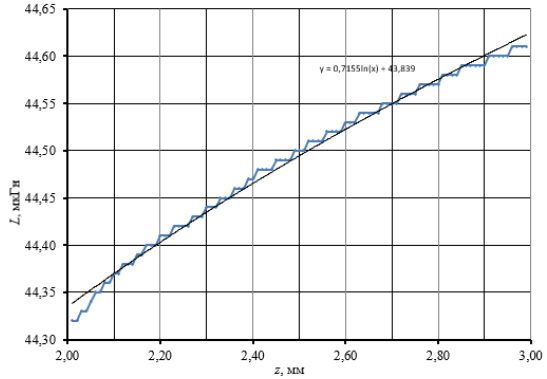




В качестве датчика в экспериментальной установке исследован одновиктовый датчик вихретокового типа. С этой целью были проведены измерения в ИПУСС РАН на одновитковом вихретоковом преобразователе. Задача была сведена к измерению зависимости индуктивности датчика от смещения на микрометрическое расстояние, которое измерялось индикатором линейного перемещения часового типа с ценой деления 0,01 мм.



Описание установки: 1 – Измеритель L,C,R Е7-12,
3-преобразователь,
2 – Индикатор частоты,
4-вихректоковый одновитковый преобразователь



Измерения проводились цифровым измерителем L, C, R типа Е7-12. Измеренное этим прибором активное входное электрическое сопротивление датчика 0,055 кОм. Результаты – в таблице 6. График по исследованиям представлен ниже

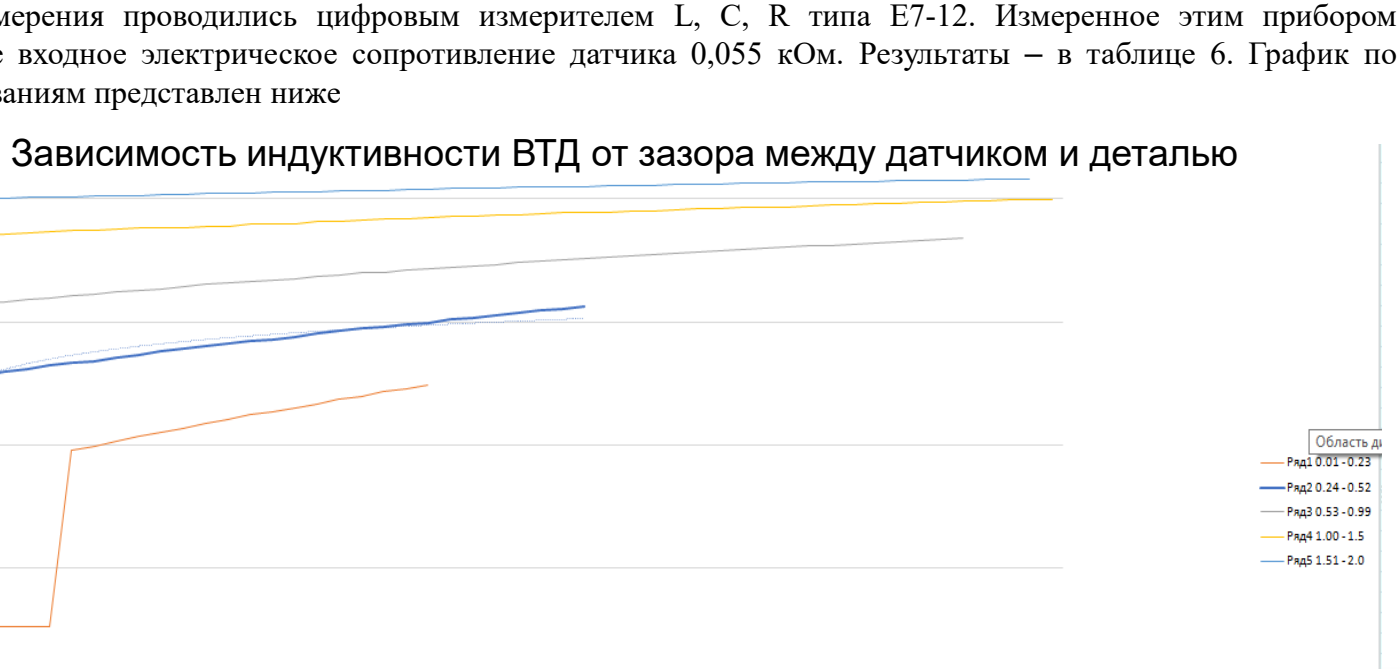


Рисунок 30. Результаты экспериментов на вихретоковом датчике

В результате экспериментов в Физическом институте Академии наук им П.Н.Лебедева в 2012-2024 гг, была применена PZS линейка К1200ЦЛ-1 на которую через ряд фокусирующих линз , через объектив ГЕЛИОС 40-2 с фокусным расстоянием 85 мм, падал луч, генерируемый диодным лазером ДМ-8-650 .

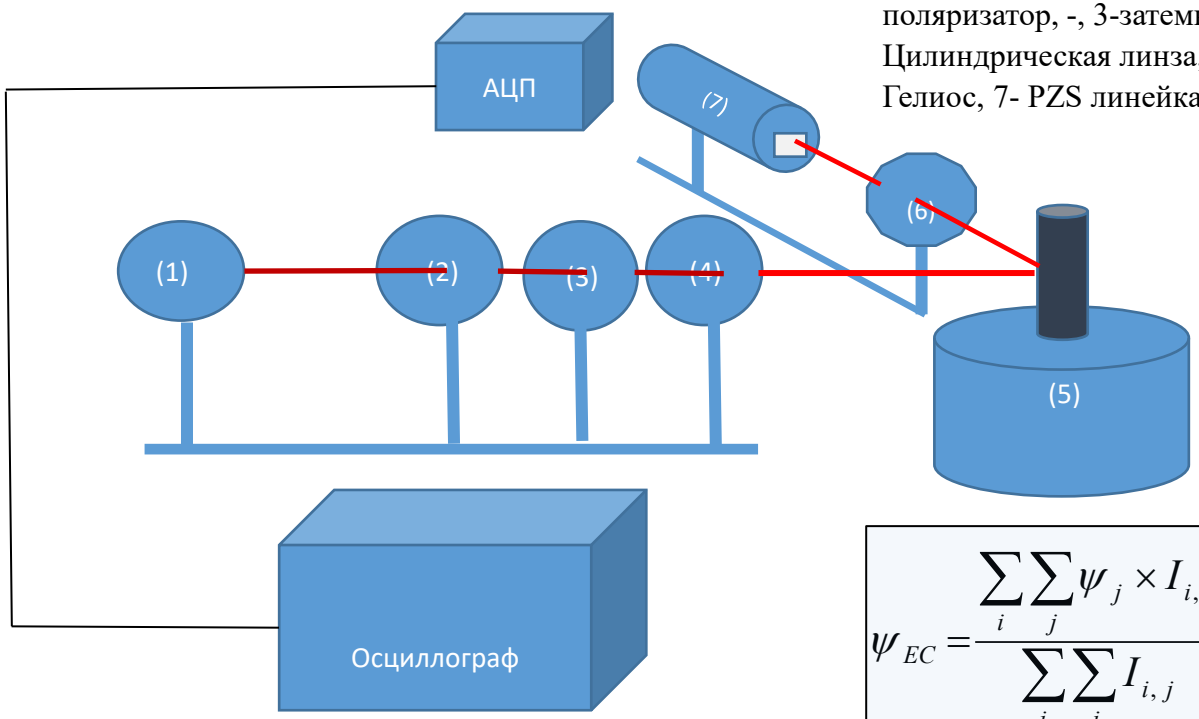
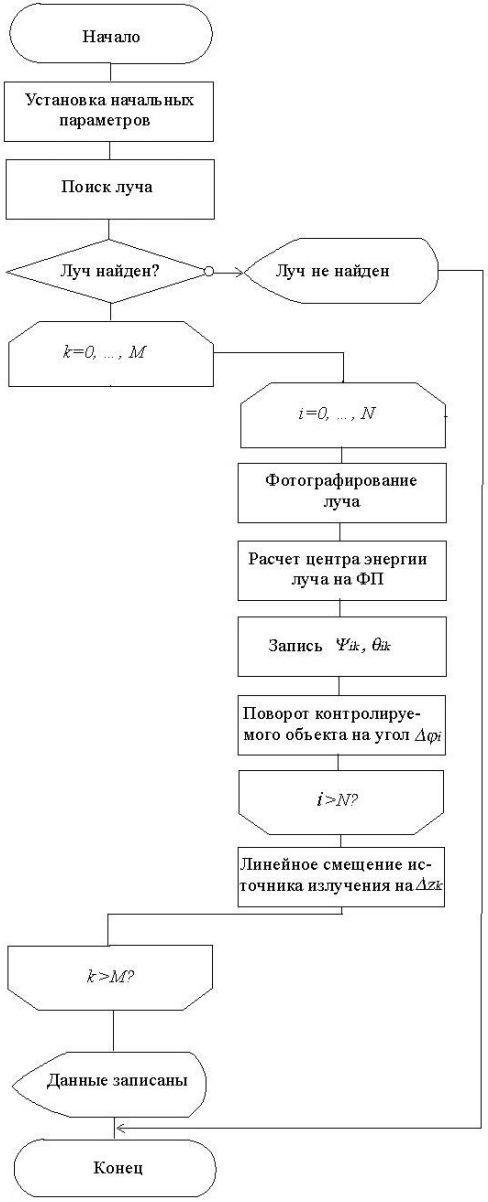


Схема установки: 1- лазер ДМ-8-650, 2- поляризатор, -, 3-затемнитель 4- Цилиндрическая линза, 5- деталь, 6- объектив Гелиос, 7- PZS линейка К1200ЦЛ-1

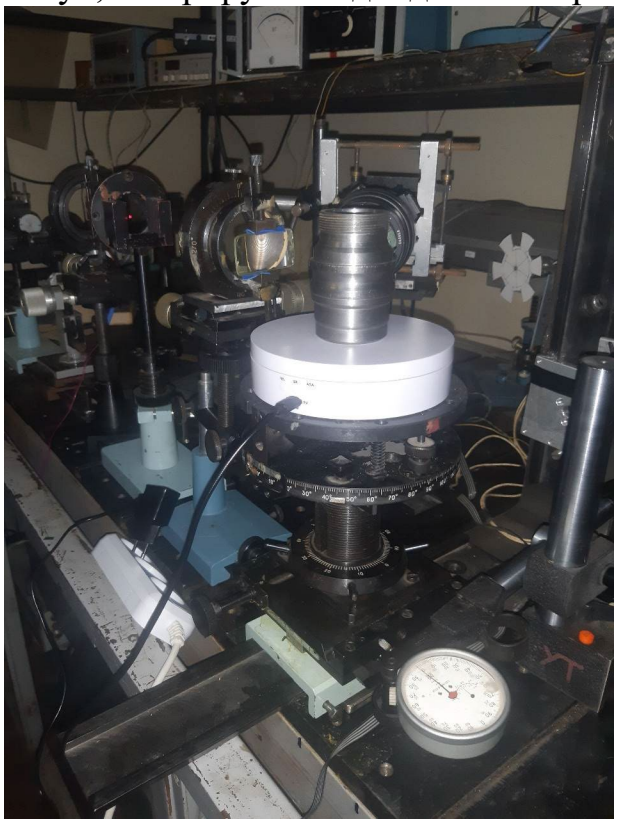


$$\psi_{EC} = \frac{\sum_i \sum_j \psi_j \times I_{i,j}}{\sum_i \sum_j I_{i,j}}$$

$$\theta_{EC} = \frac{\sum_i \sum_j \theta_i \times I_{i,j}}{\sum_i \sum_j I_{i,j}}$$

необходимые для расчета угловых координат ψ_{EC}, θ_{EC} энергетического центра отраженного пучка света: $I_{i,j}$ данные с ячейки (элемента строки) кадра видеокамеры; ψ_j, θ_i - угловые координаты этой ячейки. Здесь i - ее порядковый номер, j - порядковый номер шага каретки видеокамеры. По окончании цикла 1 - 5 проводится вычисление искомых координат по формулам:

В результате экспериментов в Физическом институте Академии наук им П.Н.Лебедева в 2012-2024 гг, была применена PZS линейка К1200ЦЛ-1 на которую через ряд фокусирующих линз , через объектив ГЕЛИОС 40-2 с фокусным расстоянием 85 мм, падал луч, генерируемый диодным лазером ДМ-8-650 .



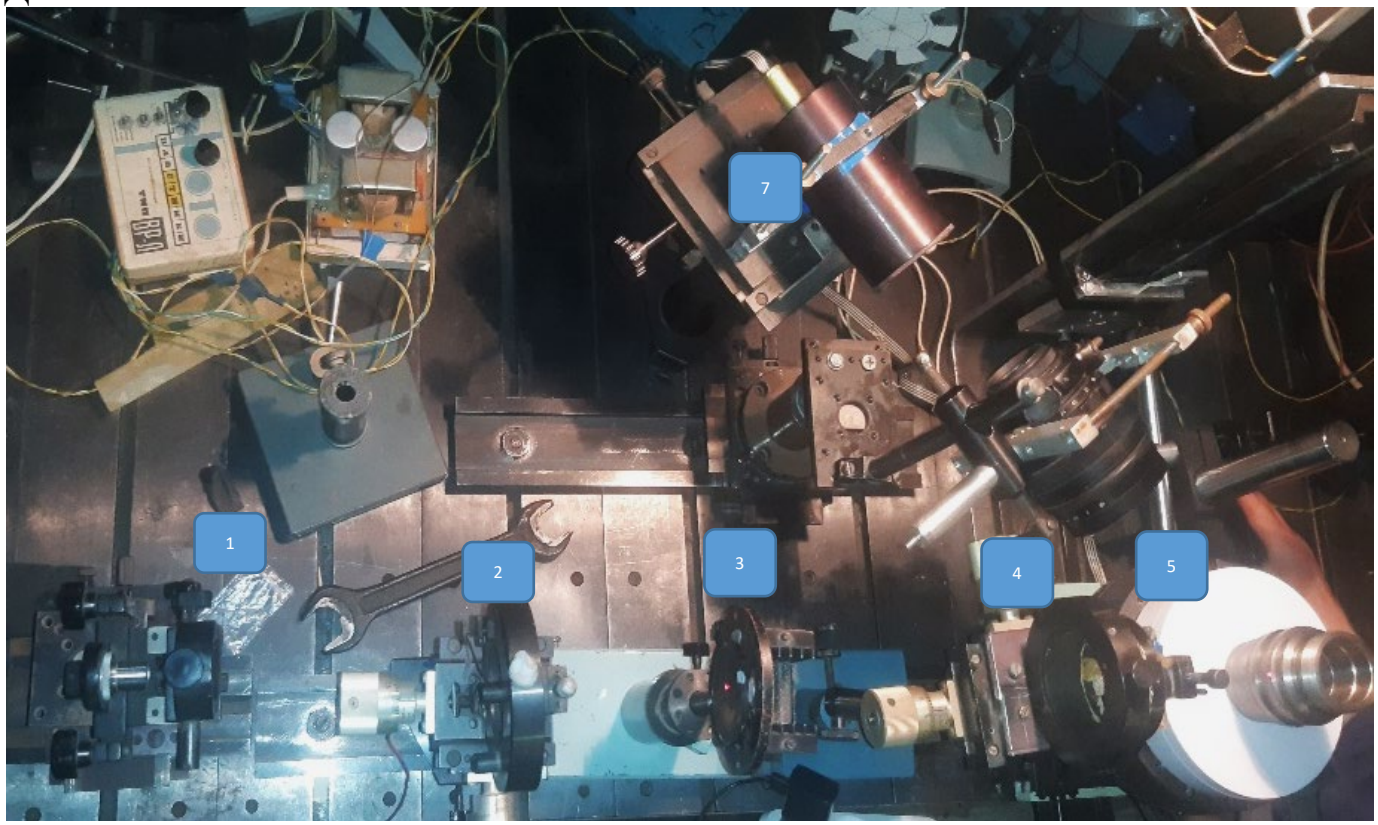
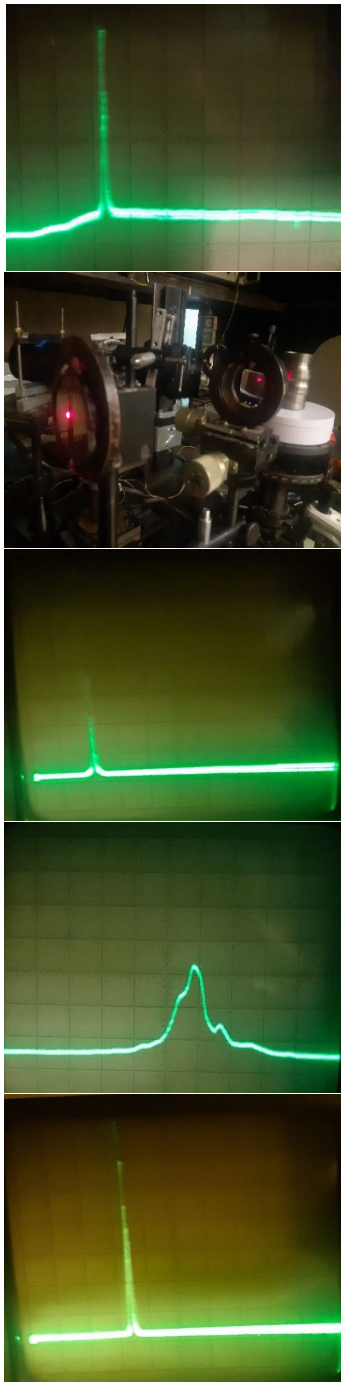
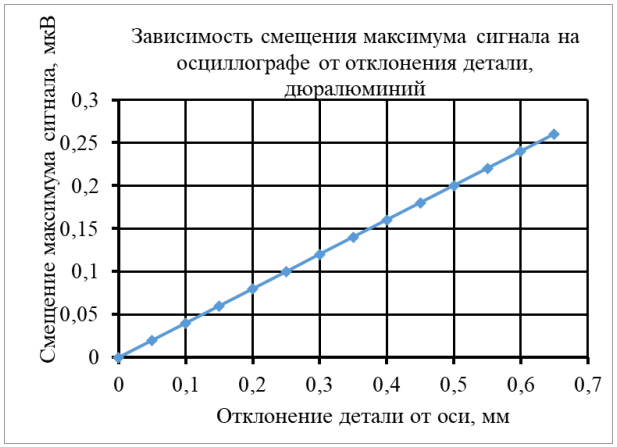


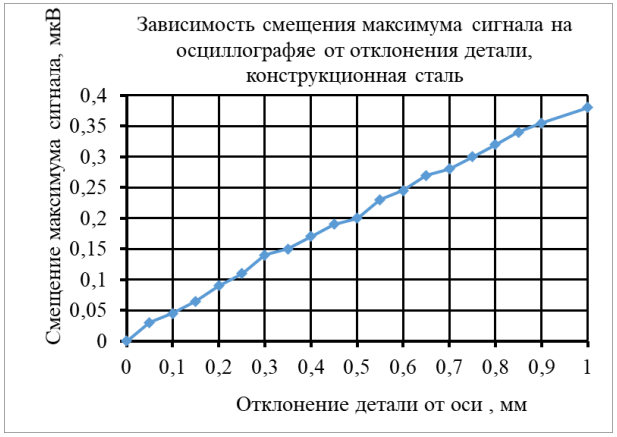
Схема установки: 1- лазер ДМ-8-650, 2-поляризатор, -, 3-затемнитель 4-Цилиндрическая линза, 5-деталь, 6- объектив Гелиос, 7- PZS линейка К1200ЦЛ-1

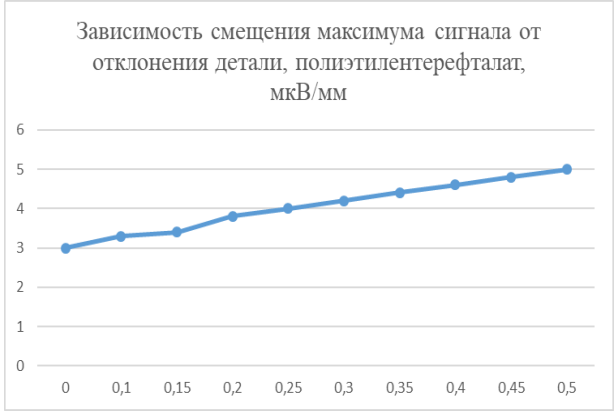
В результате проведения измерений было обеспечено четкое устойчивое положение осциллограммы в осциллографе. Осциллограмма перемещалось влево или вправо при перемещении детали микрометрическим винтом, что позволяет говорить о применимости данного метода к определению дефекта формы. На фото изображены натурные экспериментальные фото.

Результаты отклонения осциллограммы при постепенном движении детали из дюралюминия, конструкционной стали, политиэлентерефталата представлены на слайде, ФИАН им.Академика П.Н.Лебедева









Расчетная функция преобразования была выявлена следующей зависимостью :

$$h \cong \frac{(a-f)}{f \sin\theta} \times h'$$

h – высота освещенной точки поверхности детали относительно нулевого уровня

(т. е. среднего положения освещенной точки по радиальному профилю);

h' – смещение максимума сигнала на ПЗС-линейке;

f – фокусное расстояние объектива;

a – расстояние от объектива до освещенной точки поверхности детали;

θ - угол триангуляции. Угол θ - это угол между двумя лучами, проведенными от освещенной точки поверхности детали. Причем один луч проведен к источнику излучения (лазеру), а второй - к фотоприемнику. *Погрешность от нелинейности функции преобразования при замене ее линейной аппроксимирующей функцией, приведенная к* h_{max}

$$(\delta h)_{max} \cong \frac{h_{max} \cos\theta}{a}$$

где h_{max} – максимальное отклонение радиального профиля от его среднего уровня.

По расчетам, основанным на лучевом приближении, нелинейность $(\Delta h)_{max}$ функции преобразования (при a=230 мм, θ=45°, h_{max}=*1 мм) не превосходит 3 мкм, что соответствует смещению максимума сигнала в 5 раз меньше дискретности фотоприемника. Это – оценка систематической погрешности.*

Лазерная беспроводная мышь Genius

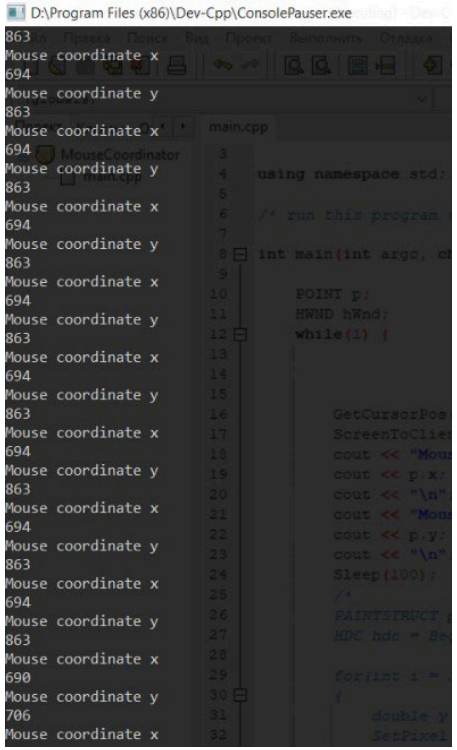
По на Python

Штатив

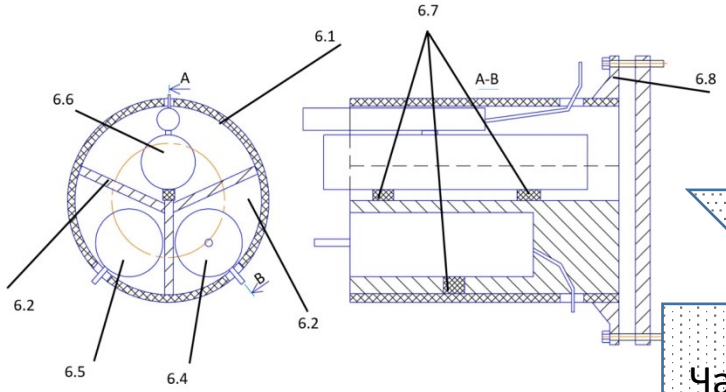
4 500 000 р

14 500 р

Поворотный стол с регулируемой скоростью вращения



Дешевле в 300 раз



6.1 Помехозащищенный корпус
6.2 Фольгированные перегородки
6.3 Помехозащищенные ячейки
6.4 Емкостной датчик
6.5 Вихретоковый датчик
6.6 Оптический датчик
6.7 Помехозащищенные прокладки
6.8 Крепежные элементы

Вход сигнала с емкостного датчика

Частотомер

Вход сигнала с вихретокового датчика

LCR-метр

Блок обработки информации

Корректировка показаний, усреднение значений

Сравнение значений и выявление лучшей из всех датчиков точности сьема

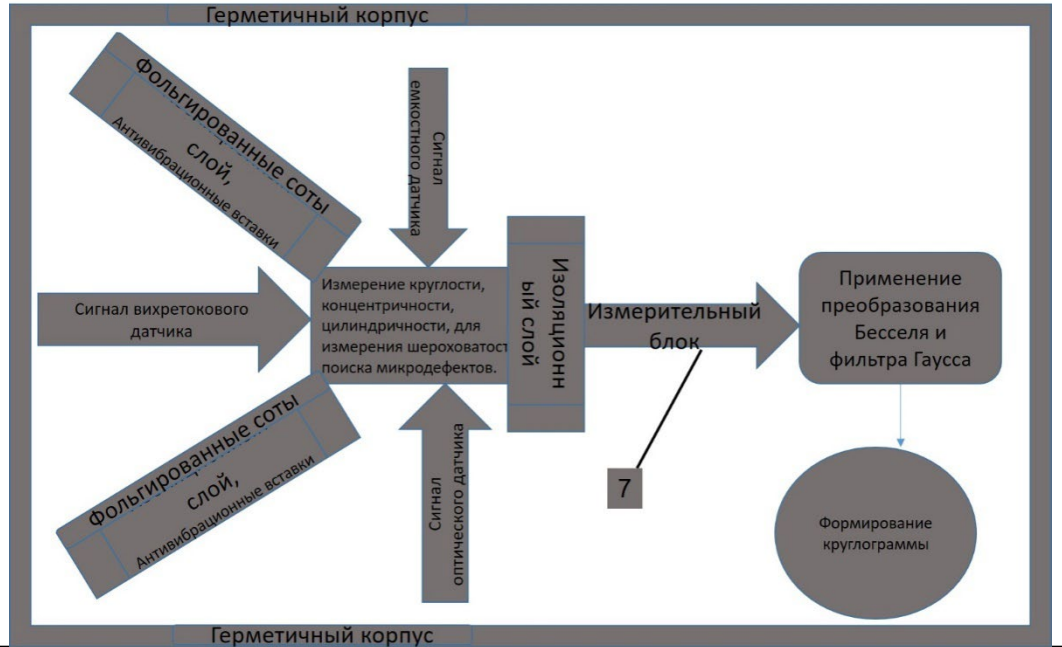
Обработка информации с учетом поправок на материал детали

Вывод на экран ЭВМ данных об отклонении детали от заданного допуска, мкм

Осциллограф

Вход сигнала с оптического датчика

Метод работы Блока обработки информации



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **232 288**(13) **U1**

(51) МПК
G01B 7/14 (2006.01)
G01D 5/20 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01B 7/14 (2025.01); G01D 5/20 (2025.01)

(21)(22) Заявка: **2024134667, 18.11.2024**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.11.2024

Дата регистрации:
05.03.2025

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **18.11.2024**

(45) Опубликовано: **05.03.2025** Бюл. № 7

Адрес для переписки:
190031, Санкт-Петербург, Адмиралтейский р-н, ул. Казанская, 39, кв. 25, Егорову А.Э.

(72) Автор(ы):
Епифанцев Кирилл Валерьевич (RU),
Егоров Александр Эдуардович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Епифанцев Кирилл Валерьевич (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2207498 C1, 27.06.2003. SU 1486760 A1, 15.06.1989. SU 1359654 A1, 15.12.1987. SU 1755034 A1, 15.08.1992. Статья: "ДАТЧИКИ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ", Ж. Форум молодых ученых, 2018. WO 2000046574 A1, 10.08.2000.**

(54) **Емкостной датчик для измерения линейных перемещений контролируемого объекта**

(57) Реферат:

RU 232288 U1

Список научных трудов

Статьи в рецензируемых журналах и изданиях, индексируемых реферативной базой Scopus и Web of Science

1. Kalia, K., Dixit, S., Kumar, K., John, V., Taskaeva, K.Epifantsev Improving MapReduce heterogeneous performance using KNN fair share scheduling. Robotics and Autonomous System , 2022, 157, 104228
2. Nair, A., Ramkumar, P., Mahadevan, S., Epifantsev, K., Kumar, K.. Machine Learning for Prediction of Heat Pipe Effectiveness. Energies, 2022, 15(9), 3276
3. Epifancev, K., Suslin, A. Research of the methodology of the development of the demo exam in Russia and its aspects in the competence Digital metrology. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1889(2), 02212
4. Possibilities of measuring roughness with the probe contact method and promising methods for improving the process Journal of Physics: Conference Series. 2022. Epifantsev, K.V.; Mishura, T.P.

Свидетельства о государственной регистрации

1. Свидетельство на ЭВМ № 2023616324 «Программа обработки сигналов оптических датчиков кругломеров с помощью преобразования Фурье для измерения дефектов формы цилиндрических твердотельных деталей», К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 24 марта 2023 г.
2. Свидетельство на ЭВМ № 2023664436 «Программа обработки сигналов оптических датчиков кругломеров с помощью функции Бесселя для измерения дефектов формы, месторасположения и биения», К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 05 июля 2023 г.
3. Свидетельство на ЭВМ № 2024611413 «Программа для адаптации измерений дефектов формы при преобразовании частотных и емкостных параметров электрической цепи». К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22 января 2024 г.
4. Свидетельство на ЭВМ № 2023612860 «Программа для визуализации и подсчета результатов измерения дефектов формы цилиндрических твердотельных деталей оптическими методами», К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08 февраля 2023 г.

Патенты и полезные модели

1. Заявка на патент К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, №2024139189 от 24.12.2024 «Мультисенсорный измерительный стенд»
2. Патент на полезную модель К. В. Епифанцев, А. Э. Егоров, №232288 от 05.03.2025 «Емкостной датчик для измерения линейных перемещений контролируемого объекта»

Список научных трудов

НИР

1. СП-2381.2018.1 «Создание виртуального измерительного комплекса на базе программного пакета National Instruments и Rocky» (2018-2021 гг)
2. «Разработка и тестирование программного обеспечения «BOTSCAN» для бесконтактных измерений», субсидия конкурса Грантов для молодых кандидатов наук вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга (2021 г.)
3. Госзадание Министерства образования по разработке видеометодических разработок по дисциплине «Цифровая метрология» (2021-2022гг) РЗ 800000Ф.99.1.БВ01АА00001, Паспорт № 2776-21

Монографии

1. В.В. Окрепилов. Социально-экономическое развитие регионов. Под ред. академика РАН В.В.Окрепилова; Ин-т проблем региональной экономики РАН. М.Наука: 2024.-492 с. Глава 8.5. В.В.Окрепилов, Ю.А.Антохина, Е.А.Фролова, К.В.Епифанцев. Стандартизация в эпоху реверсивного инжиниринга: концепция уменьшения экономических затрат в приборостроении. С. 456-470
2. К.В. Епифанцев. Современные методы разработки приборов для измерения дефектов формы и контура в аспекте координатной метрологии: монография – СПб.: ГУАП, 2024. – 182 с.

ГУАП

guap.ru

Спасибо за внимание!

Особенности дефектов изоляторов воздушных линий электропередач.

Авторы:
Иванов В.О. - магистрант кафедры электромеханики и робототехники,
Солёный С.В. - зав. каф. Электромеханики и робототехники, к.т.н., доцент.

Организация:
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Последствия дефектов изоляторов:

- снижение надежности системы
- пробои изоляции
- увеличение потерь энергии
- повышенные эксплуатационные расходы
- риск аварий
- снижение срока службы оборудования
- экологические последствия
- репутационные риски для компаний

Рисунок 1 – Причины отказа изоляторов ВЛЭП

В основном отказ изоляционных устройств происходит по причине климатических условий, на втором месте – механические повреждения, возникающие при транспортировке изоляторов. На третьем месте среди причин отказа – это загрязнения изоляторов.

Дефекты полимерных изоляторов

Рисунок 2 – Дефекты полимерных изоляторов: дендриты, треки

Дендриты, треки

Причины: проникновение влаги под наружный слой.

Последствия: образование сквозных отверстий.

Рисунок 3 – Дефекты полимерных изоляторов: сколы

Сколы

Причины: перепады температур, внешние механические нагрузки, электрические перегрузки.

Последствия: замена изолятора.

Рисунок 3 – Дефекты полимерных изоляторов: пробои

Электрический пробой

Причины: загрязнение изоляторов, высокие электрические поля.

Последствия: короткое замыкание в сети, пожары, возгорания, угроза жизни населения.

Дефекты полимерных изоляторов

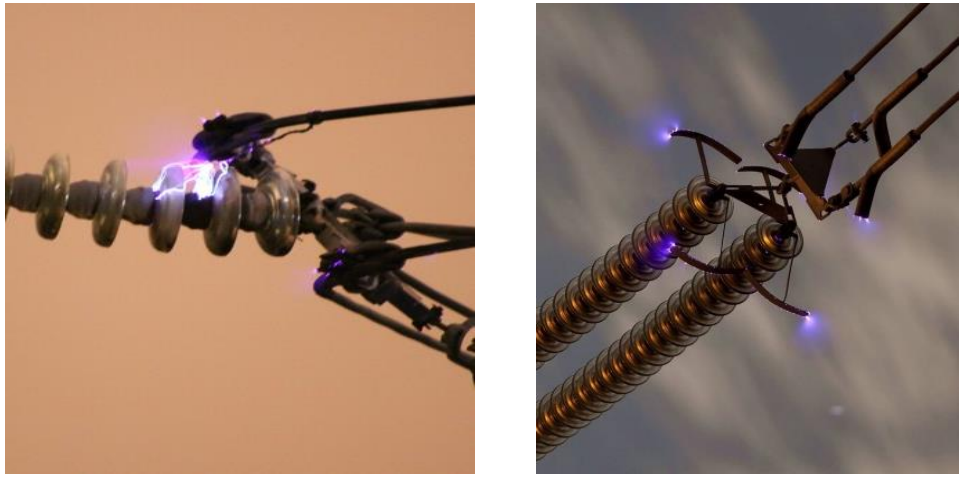


Рисунок 4 – Дефекты полимерных изоляторов: коронный разряд

Коронный разряд

Причины: избыточная влага и загрязнения.

Последствия: потеря гидрофобности, растрескивание поверхности, образование проводящих дорожек, перегрев проводников и соединений.

Пример: авария в Московской области 2019 год. Обесточено 23000 потребителей, ущерб 48 млн. руб.

Рисунок 5 – Дефекты полимерных изоляторов: хрупкий излом

Хрупкий излом

Причины: температурные «качели», разрушение стеклопластикового сердечника под действием кислот, нарушение герметичности.

Последствия: КЗ, обрыв проводов, отключении линии.

Пример: 2022 год Свердловская область хрупкий излом изолятора на ЛЭП 220кВ вызвал 8-часовое отключение энергии для 25000 потребителей.

Дефекты фарфоровых и стеклянных изоляторов

Дефекты фарфоровых изоляторов:
Пористость, отслоение эмали

Причины: при транспортировке, при монтаже из-за свойств материалов, из которых они изготовлены.

Дефекты стеклянных изоляторов:
Пороки стекла

Причины: в процессе производства могут возникать дефекты стекла (пузырьки воздуха, включения).

Последствия: ослабляется механическая прочность и электрические характеристики изолятора.

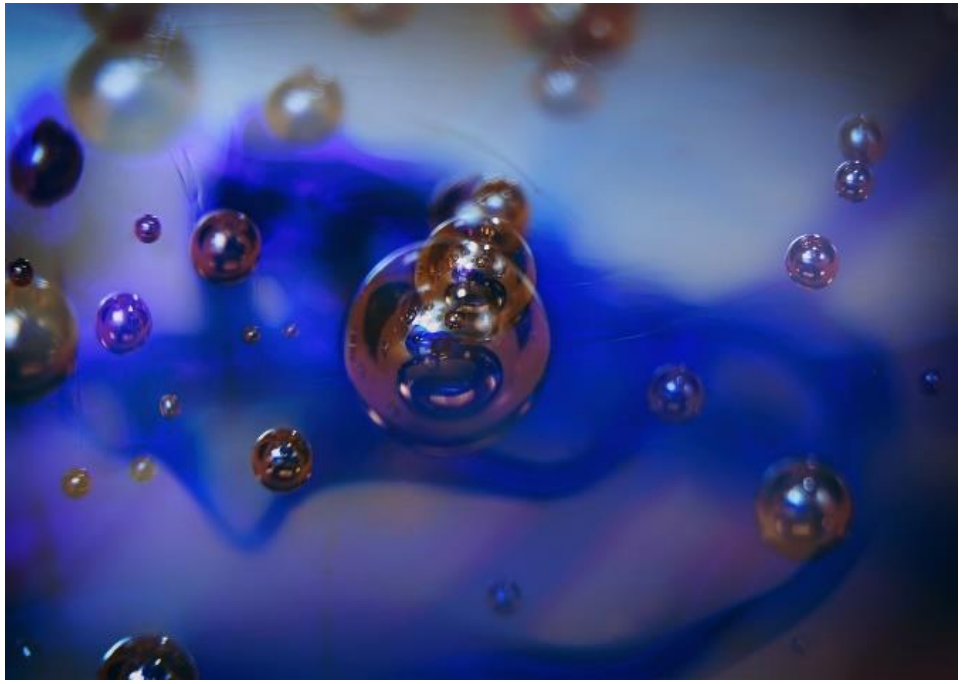


Рисунок 6 – Дефекты стеклянных изоляторов: пороки стекла

Заключение

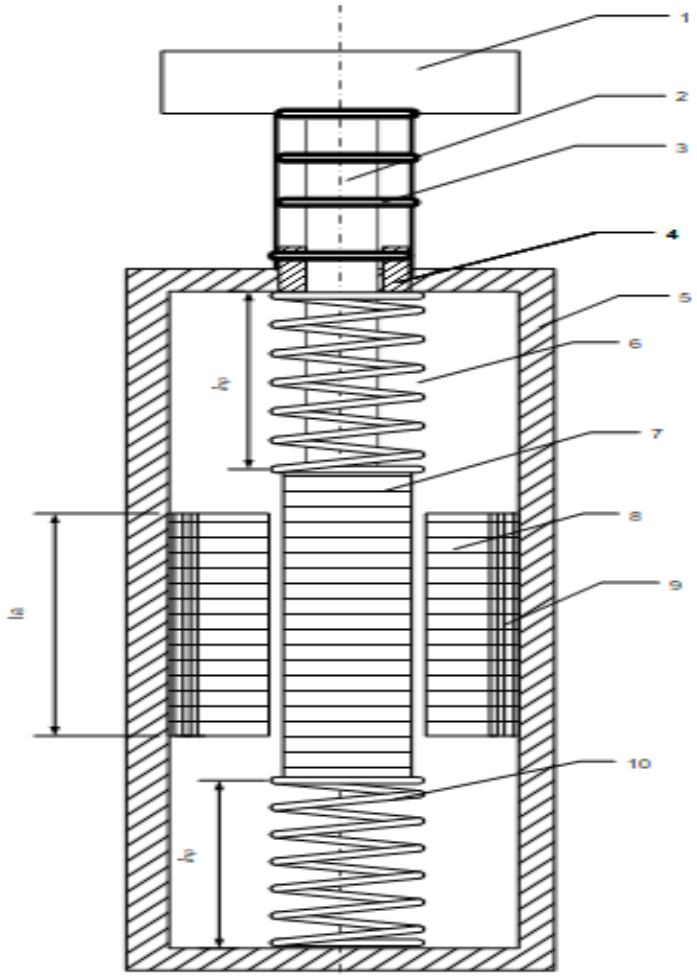
Завалишинские чтения

В заключении отметим, что для предотвращения и минимизации дефектов изоляторов воздушных линий электропередач необходимо осуществлять их постоянный мониторинг, техническое обслуживание, использовать качественный материалы для их производства. Также следует осуществлять постоянный контроль качества изоляторов на все этапах производства, включая тестирование на прочность, диэлектрические свойства. Приоритетными методами мониторинга выступают неконтактные методы (визуальный осмотр, ультразвуковые, ультрафиолетовые и инфракрасные сканирования и др). Данные методы не требуют отключения напряжения во время мониторинга ВЛЭП.

№1. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения

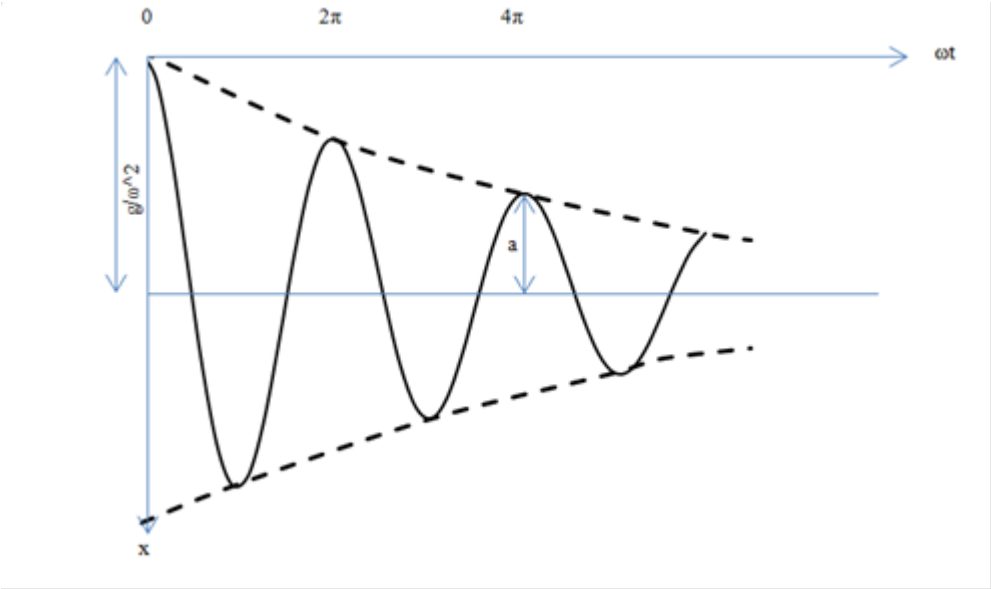


Конструктивная схема поплавкового волнового генератора с резонансом механической подсистем

№2. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

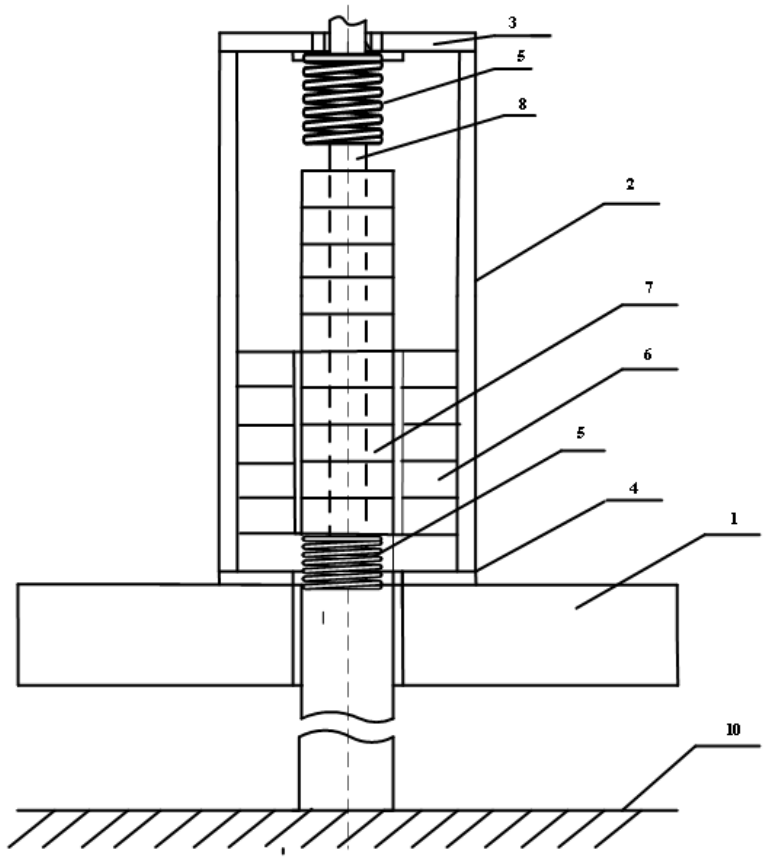
Завалишинские чтения



3. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛ№ЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения



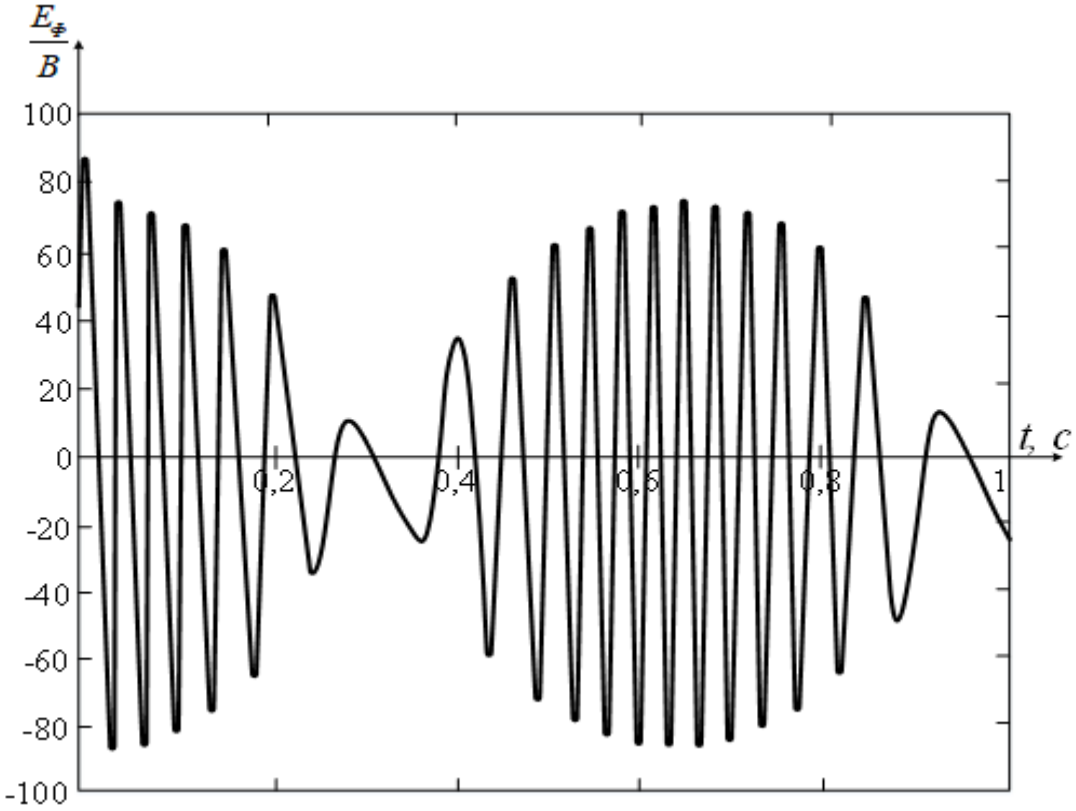
Конструктивная схема генератора однофазной поплавковой волновой электростанции с размещением генератора над поплавком

$$E(t) = E_m \cos\omega_в t \sin[(k_\tau \pi) \sin(\omega_в t)],$$

4. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛ№ЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения

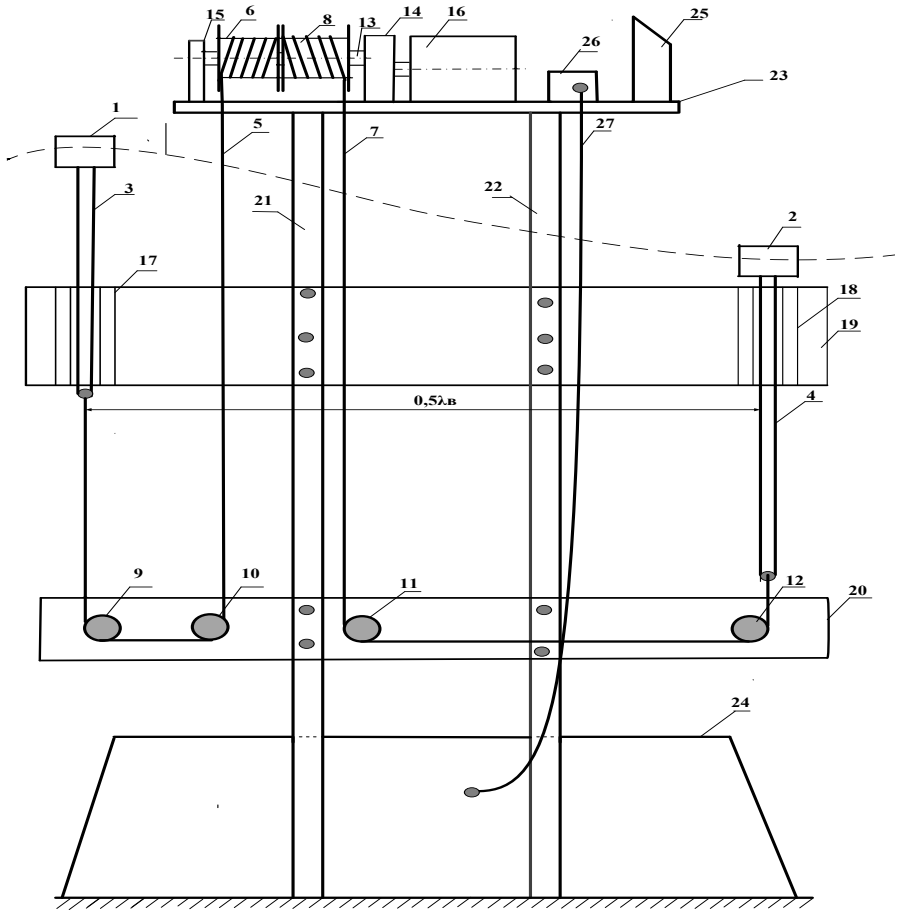


ЭДС, наводимая в обмотке статора генератора, при работе без механического резонанса

№5. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения

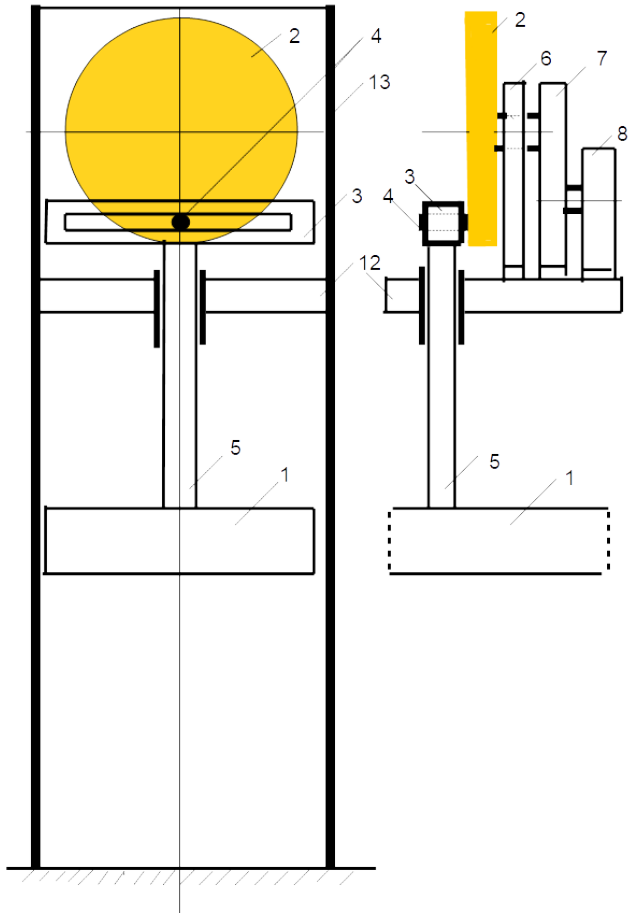


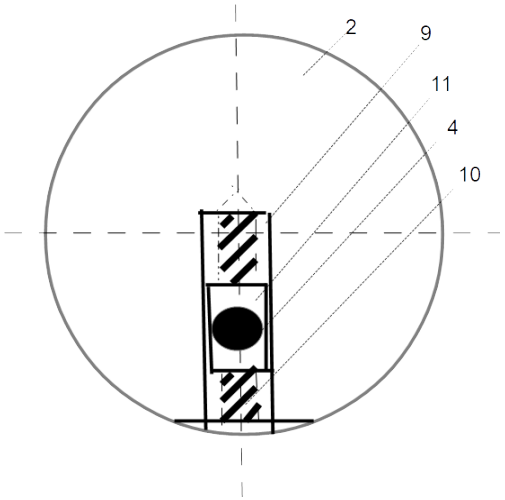
Поплавковая волновая электростанция с генератором вращательного типа при разнонаправленном вращении вала генератора на интервале одного периода волны

№6. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения



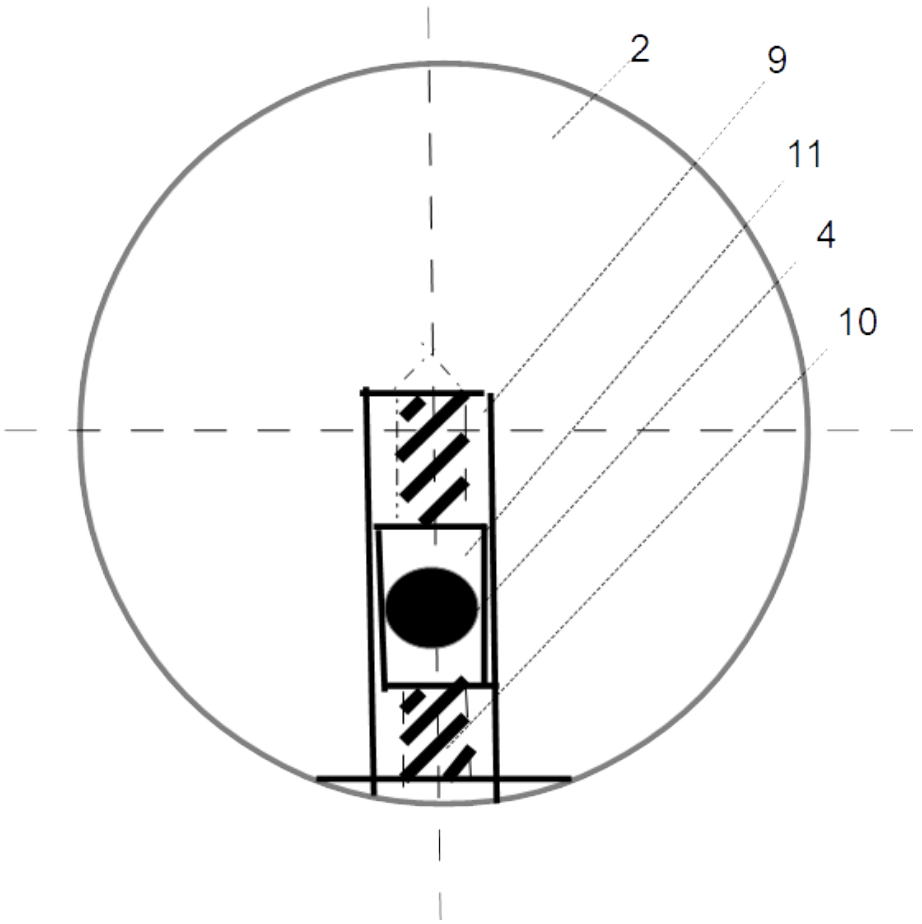


Конструктивная схема устройства для энергообеспечения доковой станции от поплавковой волновой электростанции с однонаправленным непрерывным вращением вала генератора

№7. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения



Принятые обозначения:

1-поплавок; 2- диск с валом; 3- планка с продольным пазом; 4-упор; 5-шток; 6- стойка с подшипником;

7- мультипликатор; 8-электрический генератор; 9- паз диска; 10- винт; 11-гайка; 12- основание электростанции; 13-опорные стойки

№8. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения

- Скорость вращение ротора генератора $n2$ больше
- скорости вращения диска $n1$ в iр раз, где iр - передаточное отношение мультипликатора, iр= $n2/n1$.
- Скорость вращения диска равна $n1=60 \cdot f$в$=60/T$в, об/мин,
- где Tв – период морской волны;
- fв$=1/ T$в – частота следования морских волн.

№9. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;

О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения

- **При вращении ротора электрического генератора, на котором размещены постоянные магниты, силовые линии магнитного поля ротора пересекают проводники обмотки статора и наводят в них ЭДС, частота которой $f_г$ равна**
- $f_г = n_2 \cdot p_п / 60$, **Гц.**
- **где n_2 – скорость вращения ротора электрического генератора, об/мин;**
- $p_п$ **– число пар полюсов электрического генератора.**

№10. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ПОПЛАВКОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ЛИНЕЙНОГО ТИПА

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП;
О.Б. Чернышева, старший преподаватель ГУАП

Завалишинские чтения

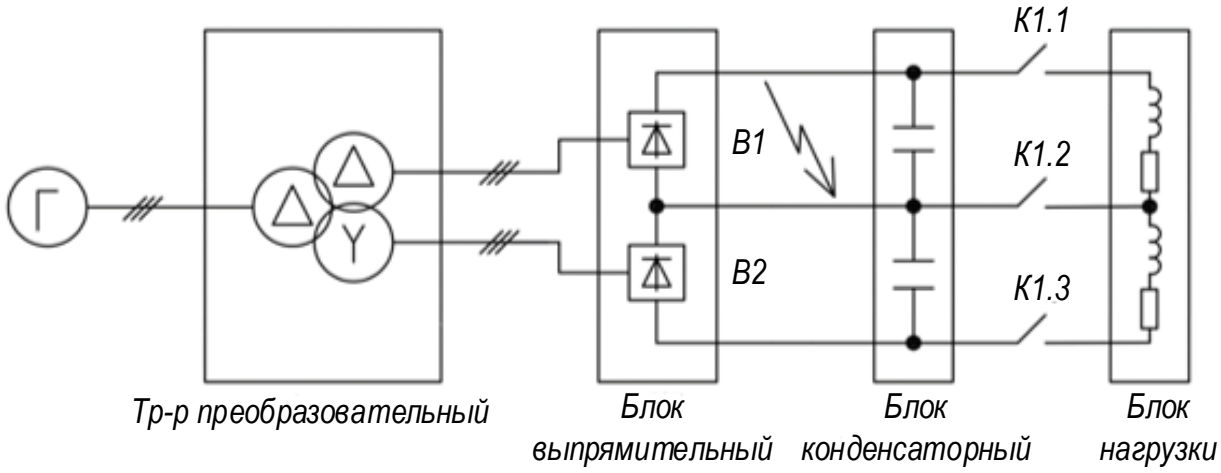
- **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

- **Рассмотрены основные типы поплавковых волновых электростанций, которые могут быть рекомендованы для систем энергообеспечения метеобуев, буев связи, подводных гаражей, доковых станций, а также резидентных подводных роботов и робототехнических комплексов. С учетом выявленных особенностей конструктивных схем поплавковых волновых электростанций можно указать оптимальные диапазоны мощности для каждой конструктивной схемы.**

№1. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП



. **Структурная схема звена постоянного тока преобразователя частоты электропривода гребного винта**

№2. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

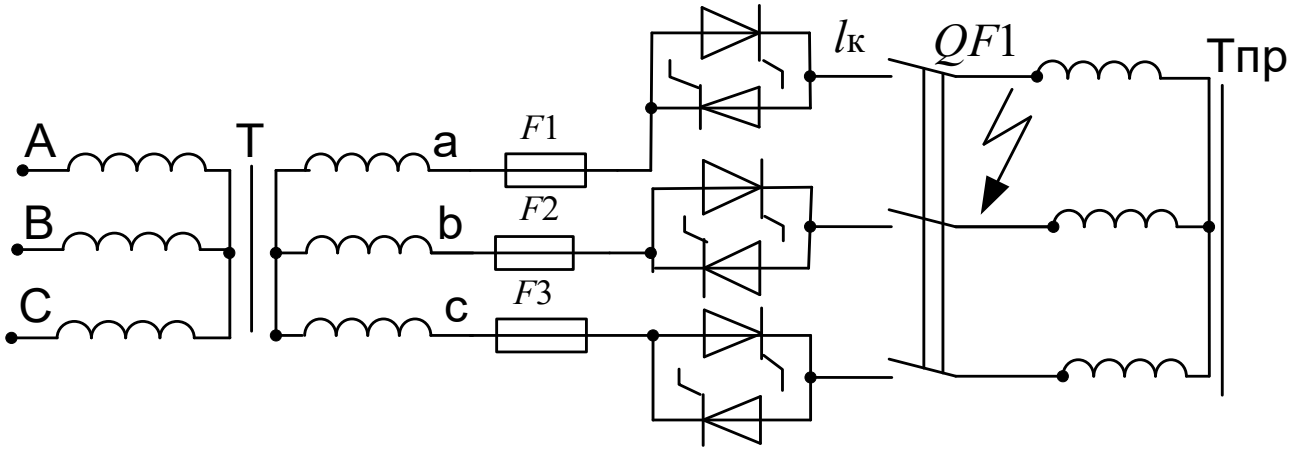
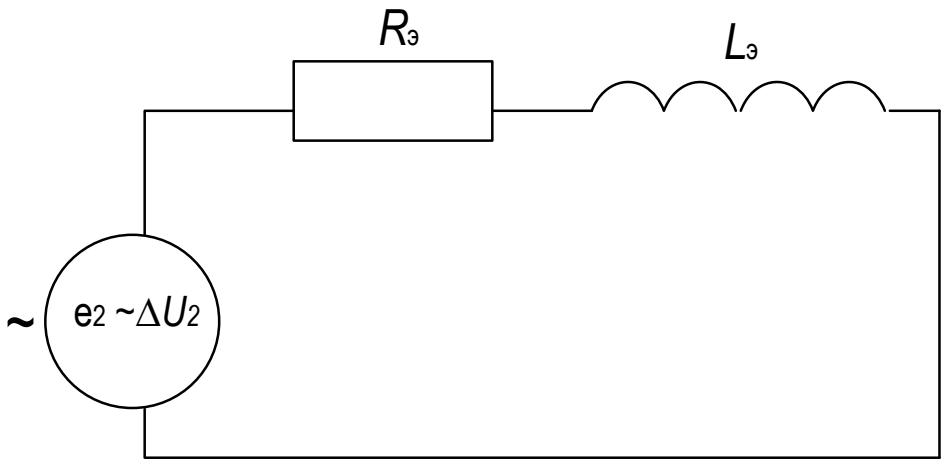


Схема тиристорного УПП

№3. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП



Эквивалентная схема замещения УПП в режиме КЗ

№4. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

$$R_э = R_{к.тр} + R_к + R_{в.дин}, \qquad L_э = L_{к.тр} + L_к,$$ (2)

где $R_{к.тр}$ – активное сопротивление короткого замыкания трансформатора, приведенное к вторичной обмотке трансформатора;
$R_к$ – активное сопротивление кабеля;
$R_{в.дин}$ – динамическое сопротивление открытого тиристора;
$L_{к.тр}$ – индуктивность цепи короткого замыкания, приведенная к вторичной обмотке трансформатора;
$L_к$ – индуктивность кабеля.

№5. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Тиристорный модуль МТТ-100-12

- **максимально допустимый средний ток - 100 А;**
- **максимальное допустимое действующее значение тока - 157 А;**
- **максимальное допустимое обратное напряжение - 1200 В;**
- **ударный ток в открытом состоянии - 2,5 кА;**
- **защитный показатель - 31250 $А^2с$;**
  динамическое сопротивление в открытом состоянии - 2,4 мОм;
- **прямое падение напряжения - 1,8 В.**

№6. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Ударный ток короткого замыкания короткозамкнутой цепи, содержащей трансформатор, $I_у$, включает в себя свободную и вынужденную составляющие и может быть рассчитан по формуле (3):

$$I_у = I_{2m\,к}\,[\sin(\omega t-\varphi_к) + \sin\varphi_к \cdot e^{-\omega t \operatorname{ctg}\varphi_к}],$$

№7. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Предохранители FR22GR69V40T со следующими параметрами -

номинальный ток - 40 А;

- **номинальный ток отключения - 150 кА;**
- **номинальное напряжение - 690 В;**
- **полное значение интеграла Джоуля $I^2 \cdot t_{ср}$ при номинальном напряжении составляет 1059 $А^2с$;**

значение интеграла Джоуля плавления плавкого элемента $I^2 \cdot \Delta t_п$ при 1 мс составляет 210 $А^2с$.

№8. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

Завалишинские чтения

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

Значения амплитуды ($I_{у\,m}$) и действующего значения ($I_{и.д.з}$) ударного тока и интеграла Джоуля ($I^2_{и.д.з} \cdot t$), для заданных моментов времени

t, с	0	0,00833	0,00166	0,00177	0,00277	0,005	0,01
$I_{у\,m}$, А	0	56	536	604	1313	3320	3369
$I_{и.д.з}$, А	0	32,4	310	349	759	1919	1948
$I^2_{и.д.з} \cdot t$ А^{2}с	0	0,871	164	216	1595	18414	37943

№8. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТИРИСТОРНОГО УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С ТОКООГРАНИЧЕНИЕМ

А.А. Мартынов, к.т.н., доцент ГУАП

При появлении дуги прекращается рост тока короткозамкнутой цепи. Таким образом, предохранитель марки FR22GR69V40T при заданных параметрах короткозамкнутой цепи обеспечивает токоограничение на уровне $I_{y\,m}$=1313 А.

Коэффициент запаса тиристора по ударному току в этом случае равен 2500/1313=1,9.

Функция ограничения тока короткого замыкания с помощью быстродействующего плавкого предохранителя марки FR22GR69V40T (фирма FERRAZ) в рассмотренном выше примере успешно реализуется

Адаптивное управление с ШИМ в квази-скользящем режиме

Завалишинские чтения

Автор: Рудаков Р.В.
Организация: ГУАП

Основые результаты:

Формализован квази-скользящий режим в дискретном времени с введением полосы удержания $|S[k]|<\delta$, что позволило избежать чэттеринга при релейном управлении.

Разработан адаптивный регулятор, корректирующий коэффициент усиления Kadpt на основе ошибки скольжения в реальном времени.

Получены аналитические условия устойчивости замкнутой системы на основе дискретной функции Ляпунова:

$V[k+1]-V[k]<0 \Rightarrow$устойчивость системы

Проведено численное моделирование, подтвердившее высокую точность слежения, отсутствие чэттеринга и устойчивость при изменении параметров объекта.

Предложенный подход применим к системам с фиксированной частотой дискретизации и может быть реализован на микроконтроллерах и встраиваемых устройствах.

Введение

Завалишинские чтения

- Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) — основа современного управления приводами.
- Классический скользящий режим (СР) приводит к четтерингу.
- Решение: квази-скользящий режим (КСР) и адаптивное управление.

Цели исследования

Завалишинские чтения

- Разработка алгоритма управления на основе КСР.
- Учет дискретизации, чэттеринга и внешних возмущений.
- Применение адаптивного коэффициента усиления для повышения устойчивости.
- Обеспечение точного слежения за траекторией при неопределенностях в системе.

Актуальность и научная новизна

Завалишинские чтения

- Управление приводами с использованием ШИМ является стандартом в современной робототехнике, однако требует учёта дискретности и задержек в управлении.
- Классический скользящий режим в условиях дискретного времени вызывает чэттеринг, снижает эффективность и приводит к износу оборудования.
- Квази-скользящий режим позволяет устранить эти недостатки, обеспечивая устойчивое и плавное поведение системы при конечной частоте переключения.

- Обосновано применение адаптивного управления с ШИМ в квази-скользящем режиме в рамках дискретной модели движения манипулятора.
- Предложена формализация КСР через скользящую функцию:
  $S[k]=e[k]+\lambda(e[k]-e[k-1])$
- Введён адаптивный коэффициент усиления Kadpt, автоматически настраивающий уровень управления в ответ на ошибку слежения.
- Доказана устойчивость системы с использованием дискретной функции Ляпунова, включая условия сходимости к поверхности скольжения.

Формулировка квази-скользящего режима

Завалишинские чтения

- Формула скользящей поверхности в дискретном времени:

$$S[k] = e[k] + \lambda e[k-1]$$

где:

e[k]=φ[k]−φref[k]— ошибка слежения,

λ— коэффициент поверхности.

- КСР условие:

$$|S[k]| \le \delta$$

Это означает, что траектория удерживается в окрестности поверхности, без резких переключений.

Адаптивное управление

Завалишинские чтения

Формула адаптации коэффициента усиления:

$$K_{adpt}[k+1] = K_{adpt}[k] + T_s \gamma \left| S[k] \right|$$

γ — коэффициент адаптации.

При больших ошибках Kadapt увеличивается, усиливая управление.

- Ограничения:

$$K_{\min adpt} \le K_{adpt}[k] \le K_{\max adpt}$$

Формирование управляющего сигнала

Завалишинские чтения

- Управляющий сигнал:

$$U[k] = K_{adpt}[k] + sat(S[k]) * K_m$$

- Функция насыщения sat() ограничивает сигнал в пределах мощности привода.
- Используется для формирования ШИМ-сигнала:

$$PWM[k] = \frac{U_a[k]}{U_{\max}}$$

Анализ устойчивости

Завалишинские чтения

- Функция Ляпунова:

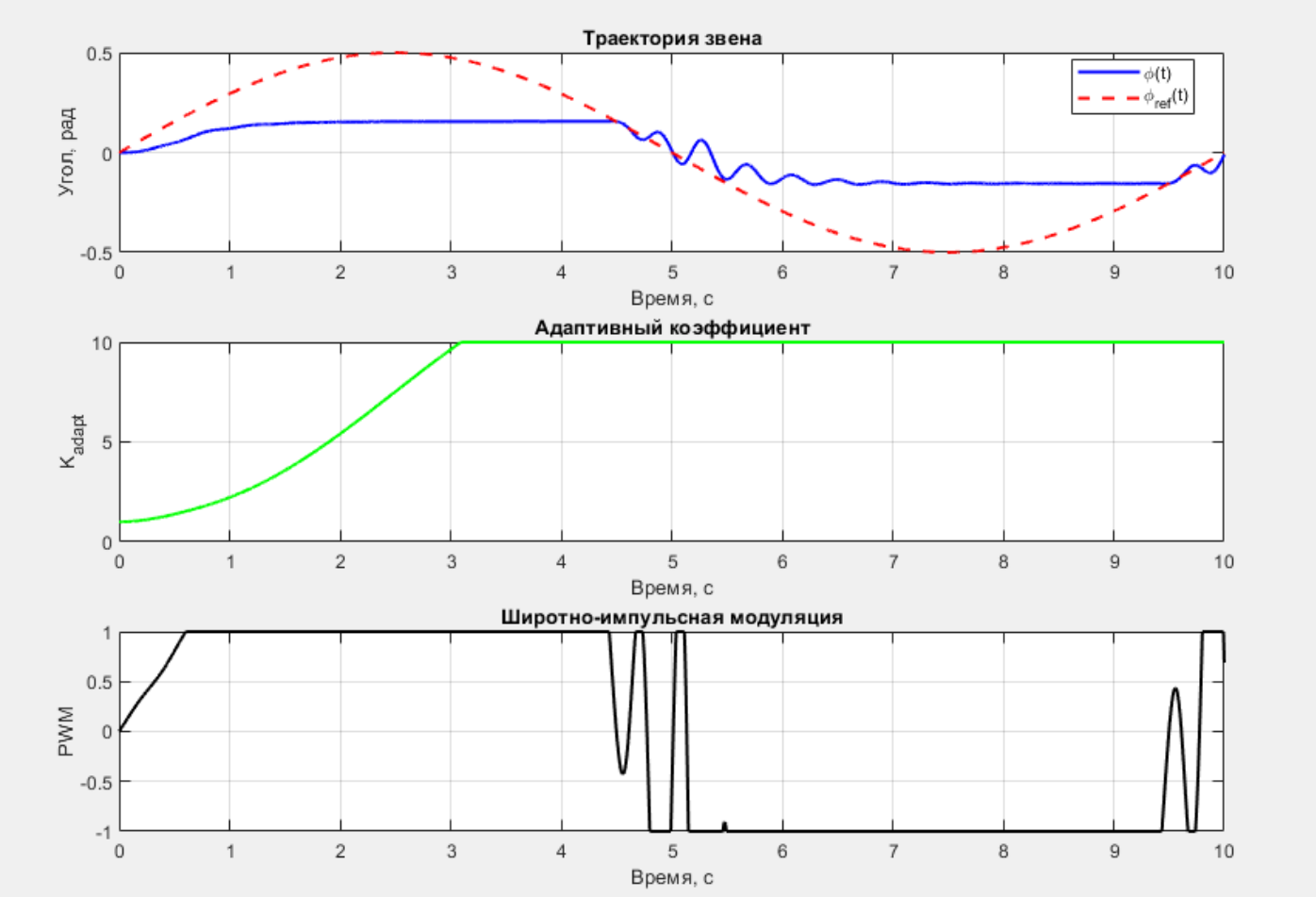
$$V[k] = \frac{1}{2} S^2[k]$$

- Условие устойчивости:

$$\Delta V[k] = V[k+1] - V[k] < 0$$

Это гарантирует, что система стремится к поверхности скольжения и удерживается в её окрестности при любых начальных условиях и возмущениях.

Результаты моделирования



Выводы

Завалишинские чтения

- КСР позволяет устранить недостатки классического СР.
- Адаптивный регулятор эффективно компенсирует внешние возмущения.
- Алгоритм стабилен, точен, не перегружает привод.
- Метод подходит для внедрения в цифровые системы управления.

Апробация диссертационного исследования

По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них: 2 − в журналах ВАК, 1 - в научных изданиях Scopus и Web of Science, 2 – в сборниках РИНЦ. Принято участие в конкурсах и конферепнциях – 4, опубликовано учебно-методическое пособие – 1.

1. Завалишинские чтения 23 : Сборник докладов XVIII Международной конференции по электромеханике и робототехнике, Санкт-Петербург, 18–19 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – 420 с. – ISBN 978-5-8088-1823-1. – DOI 10.31799/978-5-8088-1823-1-2023-18. – EDN JPRFQU. Стр 247. Рудаков Р.В,Бойков В.И., Сержантова М.В. Исследование проблемы идентификации манипуляционных робототехнических систем.
2. Теоретическая оценка влияния автоматизации на производственный процесс поверки контрольно-измерительных приборов / А. П. Бобрышов, С. В. Соленый, М. В. Сержантова [и др.] // Ядерная физика и инжиниринг. – 2023. – Т. 14, № 6. – С. 571-577. – DOI 10.56304/S2079562923010062. – EDN IYIEQS.
3. Идентификация n-звенных робототехнических манипуляторов / Р.В. Рудаков, М.В. Сержантова, В.И. Бойков // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — №1 (139) . — URL: https://research-journal.org/archive/1-139-2024-january/10.23670/IRJ.2024.139.166 (дата обращения: 13.10.2024). — DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.166
4. Исследование идентификации скользящего режима манипуляционного робота, применяемого в высокотемпературных процессах Р. В. Рудаков, М. В. Сержантова, В. И. Бойков, О. С. Нуйя с. 412, 2023г// IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ГАЗОРАЗРЯДНАЯ ПЛАЗМА И СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУР»
5. Рудаков, Р. В., Бойков, В. И., Бушуев, А. Б., Быстров, С. В., Литвинов, Ю. В., Нуйя, О. С., & Сержантова, М. В. (2024). Адаптивное управление роботами для работы в условиях действия высоких температур.// *Информационно-управляющие системы*, (4), 12-23. https://doi.org/10.31799/1684-8853-2024-4-12-23
6. Адаптивные модели и алгоритмы управления манипуляционной робототехнической системой.// IX Всероссийский молодежный научный форум «Наука будущего – наука молодых» Р. В. Рудаков, М. В. Сержантова.
7. Исследование идентификации n-звенных робототехнических манипуляторов.// VIII Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов Р. В. Рудаков, М. В. Сержантова.
8. Учебно-методическое пособие «Прикладное программировние».// Сержантова М.В., Елтышева И.В.,Рудаков Р.В., Хорубко А.Д. 2024.Стр – 71.
9. Манипуляционные робототехнические системы для работы на глубине Р. В. Рудаков, М. В. Сержантова. // АО “СПМБМ МАЛАХИТ” 16 июля 2024г.
10. Моделирование адаптивной манипуляционной робототехнической системы для высокотехнологичного производства Р.В. Рудаков, М.В. Сержантова, В.И. Бойков //

IV Международный форум «Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве» (в печати).

Благодарю за внимание

Завалишинские чтения

Автор: Рудаков Р.В.
Организация: ГУАП

Завалишинские чтения

Развитие цифровизации энергетической области в России

О.Я. Солёная

кандидат технических наук, доцент

К.С. Никитина

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Концепция Smart Grid в России представляет собой интеграцию интеллектуальных технологий в существующую энергосеть для обеспечения её адаптивности, надёжности и эффективности.

Ключевым элементом Smart Grid являются цифровые подстанции.

Рисунок 1 – Цифровая подстанция

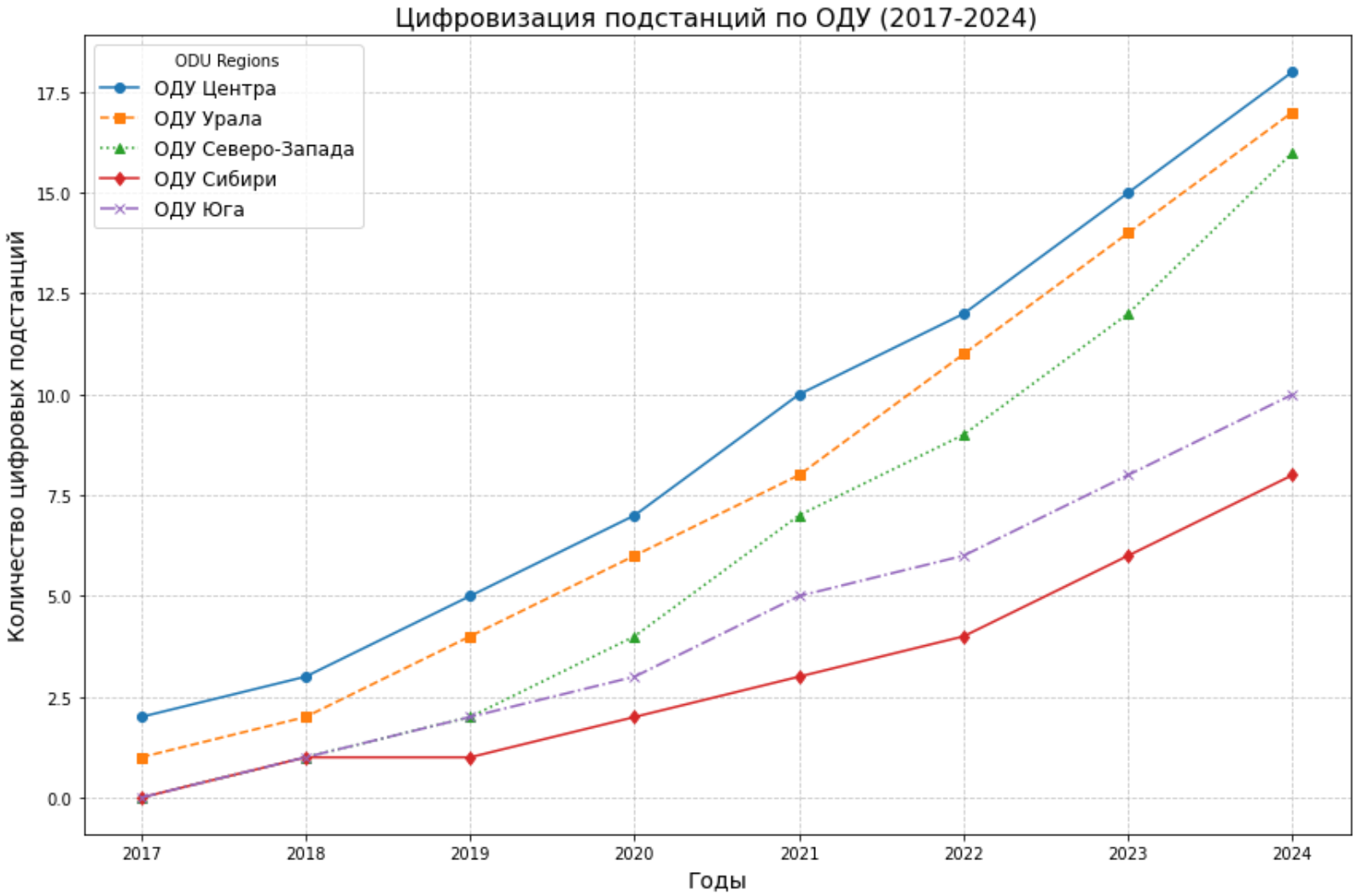


Рисунок 2 – Цифровизация подстанций по ОДУ с 2017 по 2024 годы

Цифровизация подстанций включает в себя автоматизацию управления, использование микропроцессорных устройств и интеграцию в цифровую энергетическую инфраструктуру.

Был проведен анализ элементов цифровой системы подстанции 110/10 кВ «Ангарская», расположенной в Краснодарском крае на основе метода анализа надежности FMEA (анализ режимов отказов и последствий) по формуле:

$$D \cdot O \cdot S = RPN$$

где D – вероятность обнаружения проблемы до отказа,
O – вероятность возникновения,
S – серьезность последствий,
где каждое из обозначений принимает значения от 1 до 10.

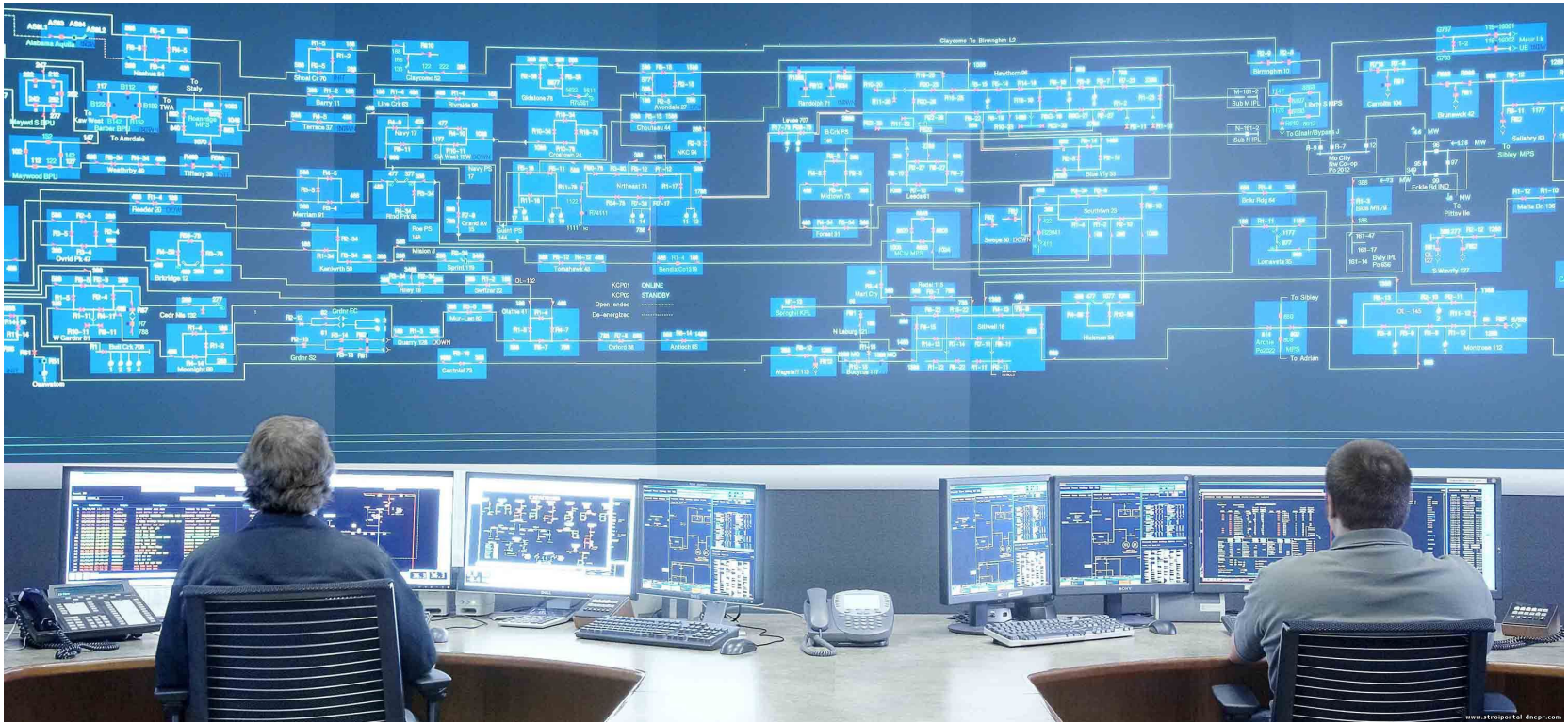
Таблица 1 – Анализ надежности FMEA цифровой подстанции

Идентификатор элемента системы	Возможный отказ	Причина отказа	Последствия отказа	S	O	D	RPN	Рекомендуемые меры
Интеллектуальные счетчики (AMI)	Ошибка в передаче данных	Сбой программного обеспечения	Нарушение	6	4	3	72	Регулярное обновление ПО, резервирование данных
Диспетчерское управление и сбор данных (SCADA)	Потеря связи с подстанциями	Проблемы с сетевой связью	Увеличение времени реакции	9	5	4	180	Дублирование каналов связи, улучшение защиты данных
Хранилища энергии	Отказ аккумулятора	Износ батареи	Нарушение компенсации пиковых нагрузок	7	3	6	126	Плановое обслуживание и мониторинг состояния аккумуляторов
Управление спросом (DR)	Неправильная регулировка нагрузки	Ошибка алгоритма	Перегрузка сети	8	3	5	120	Улучшение алгоритмов прогнозирования, тестирование перед внедрением
Линии электропередачи	Повреждение линии	Непогода, износ оборудования	Отключение потребителей	10	7	4	280	Укрепление линий, замена воздушных на кабельные в критических зонах

Развитие цифровизации энергетической области в России

Завалишинские чтения

Цифровизация энергетики России — необходимое условие для повышения её конкурентоспособности и устойчивости. Реализация программ Smart Grid и развитие технологий, таких как цифровые подстанции и виртуальные электростанции, позволит не только решить текущие проблемы, но и создать основу для устойчивого роста отрасли в будущем.



Спасибо за внимание!

АНАЛИЗ СХЕМ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Завалишинские чтения

Рисунок 1 – Ситуационный план судоремонтного завода

Таблица 1 – Сведения о нагрузке цехов

№ п/п	Наименование объекта	Установленная мощность, кВт
1	Литейный цех	2000
2	Кузнечный цех	800
3	Главный корпус	1500
4	Корпусно-котельный цех	1700
5	Компрессорная (10 кВ)	2х800
6	Сухой док	1200
7	Плавающий док	1300
8	Механический док	900
9	Такелажно-парусный цех	500
10	Заводоуправление	100
11	Кислородная станция	800
12	Лесосушилка	500
13	Административный корпус	250
14	Сортировочный корпус	120
15	Склад	65

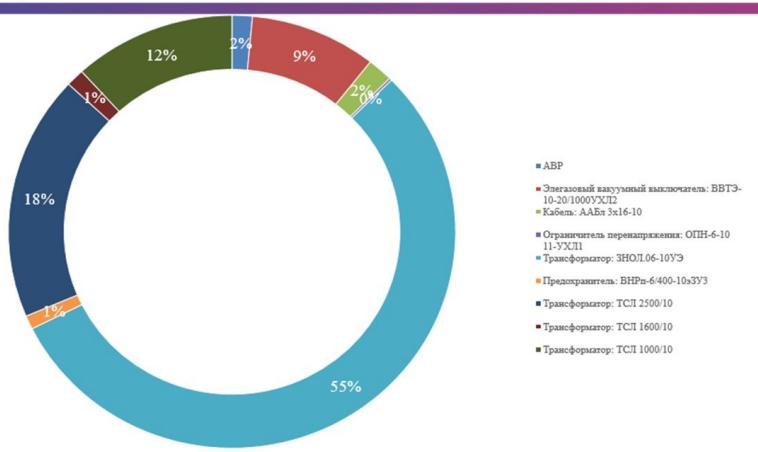


Рисунок 6 – Кольцевая диаграмма стоимости электрооборудования при магистральном исполнении

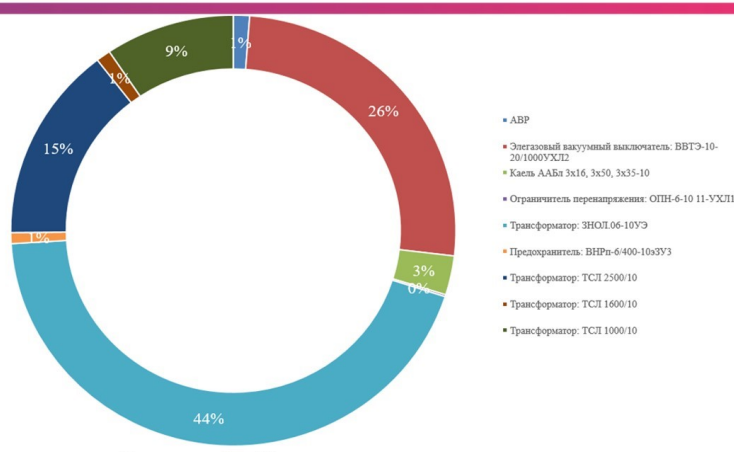


Рисунок 5 – Кольцевая диаграмма стоимости электрооборудования при радиальном исполнении

Рисунок 2 – Исполнение радиальной схемы на ситуационном плане

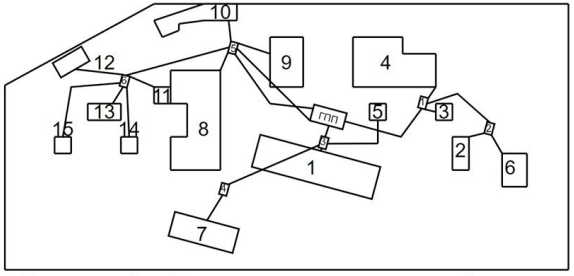


Рисунок 4 – Исполнение магистральной схемы на ситуационном плане

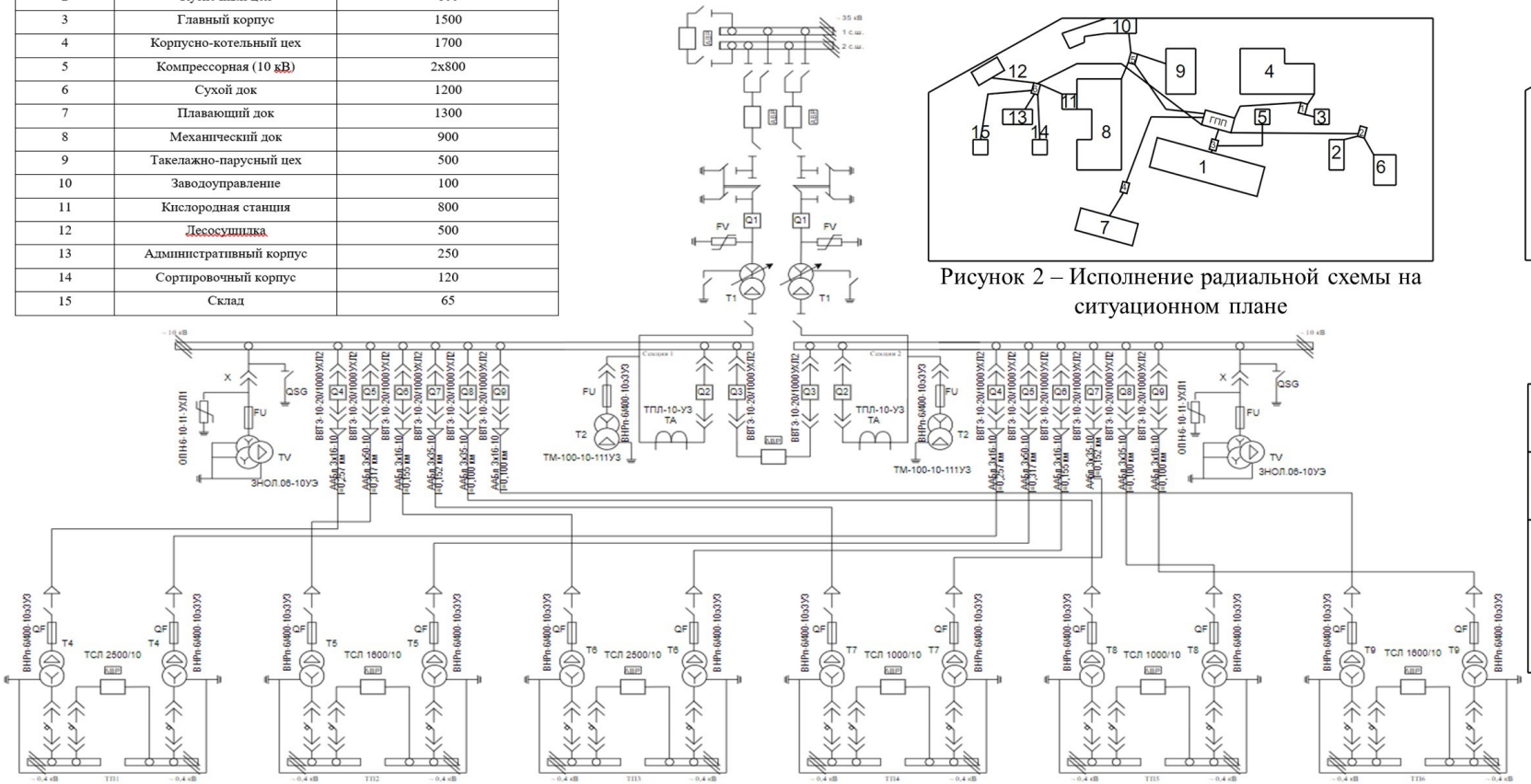


Рисунок 3 – Радиальная схема электроснабжения судоремонтного завода

Таблица 2 – Преимущества и недостатки схем электроснабжения

Радиальная схема электроснабжения		Магистральная схема электроснабжения	
Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Надёжность Простота в эксплуатации Минимальные потери энергии	Высокая стоимость Габаритность	Экономичность Гибкость Компактность	Зависимость от магистрали Балансировка нагрузки

Автор: Д. А. Смагин – студент института киберфизических систем.
Организация: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Обзор методов повышения эффективности электрических систем

Работу выполнил: Сологубов Николай Дмитриевич, магистр кафедры электромеханики и робототехники, ГУАП
Научный руководитель: Солёная Оксана Ярославна, доцент, канд. техн. наук, доцент, ГУАП

Постоянный рост потребления электроэнергии и износ существующих электрических сетей подчеркивают необходимость внедрения новых, более эффективных технологий в сфере электроснабжения. Модернизация электрических сетей дает возможность повысить надёжность, энергоэффективность и устойчивость к аварийным ситуациям. Это особенно важно в условиях перехода к интеллектуальным системам управления и интеграции возобновляемых источников энергии.

Система электроснабжения – это система передачи и распределения электрической энергии, обеспечивающая бесперебойную подачу электропитания объектам промышленного, гражданского или жилого назначения [1]. Любая электрическая система состоит из источников, систем преобразования, распределения, передачи и потребления электрической энергии. На рис. 1 приведена типовая схема электроснабжения.

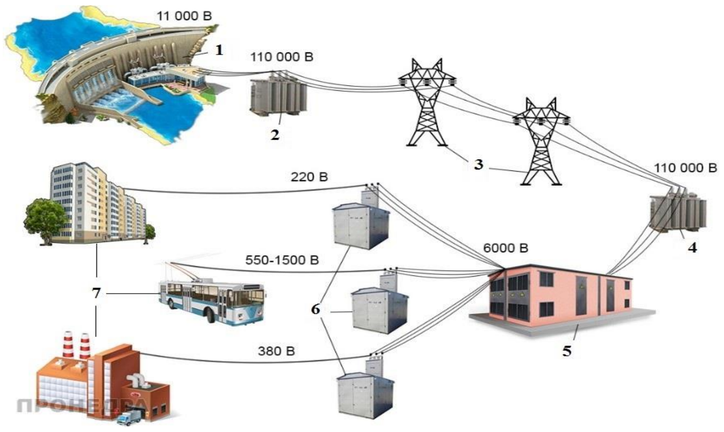


Рисунок 1 – Структура системы электроснабжения: 1) генерация; 2) трансформаторы; 3) линии электропередач; 4) трансформаторы; 5) главная понизительная подстанция; 6) трансформаторные подстанции; 7) потребители

Современные системы электроснабжения должны учитывать ограниченность ресурсов и зависимость от поставок топлива, поэтому основными факторами, которые надо в них внедрять, являются:

- использование возобновляемых источников энергии, поскольку при сжигании угля, нефти, газа и т. д. выделяется углекислый газ (CO_2), оксид азота (NO), оксид серы (SO_2) и т. д., что приводит к увеличению парникового эффекта, вызывает кислотные дожди, загрязняет воду и воздух;
- переход к новым технологиям – использование интеллектуальных сетей, которые способствуют гибкости в управлении энергосистемы, помогают регулировать количество генерируемой энергии. Это в свою очередь минимизирует потери и повышает эффективность распределения энергии, позволяя оперативно реагировать на изменения режимных параметров в энергосистеме.

В данной работе рассматриваются методы повышения эффективности электрических систем с акцентом на снижение потерь электроэнергии, повышение надёжности и устойчивости функционирования. Особое внимание уделяется возможностям интеграции современных технологий и возобновляемых источников энергии в структуру существующих энергосетей.

Основные причины проведения модернизации электрических сетей:

- физический износ оборудования. Многие электрические сети были построены еще в прошлом веке и рассчитаны на меньшие нагрузки;
- естественный износ оборудования (трансформаторы, линии электропередач, коммутационная аппаратура), в следствие чего возрастают потери энергии и увеличивается риск аварий.

Для модернизации электрических сетей можно использовать:

1. Интеллектуальные сети (Smart Grid) – это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении. Это позволяет повысить эффективность, надежность, экономическую выгоду и устойчивость производства [2].

Ключевые особенности Smart Grid:

- двухсторонний обмен данными между производителями и потребителями электроэнергии;
- автоматическое восстановление сетей в случае аварий;
- помогают энергосистеме адаптироваться к изменению генерации электроэнергии, связанным с использованием ВИЭ;
- использование умных счетчиков для оптимизации потребления энергии.

2. Цифровые подстанции (ЦПС) – это подстанция с высоким уровнем автоматизации, в которой практически все процессы информационного обмена между элементами ПС, а также управлением работой ПС осуществляются в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850 [3].

Основные технологии, используемые на ЦПС:

- оптоволоконные линии связи вместо медных проводов;
- умные датчики для измерения параметров сети;
- автоматизированные системы управления для контроля работы оборудования.

3. Цифровые двойники – это виртуальная копия физического объекта (электростанции, подстанции, или всей энергосистемы), которая в реальном времени анализирует данные с оборудования, прогнозирует его поведение и помогает оптимизировать работу. Основные функции виртуального двойника системы электроснабжения:

- сбор данных с датчиков на реальном объекте;
- хранение данных и сортировка:
- моделирование и прогнозирование поведения электрифицированного объекта на основе искусственного интеллекта;
- прогнозирование срока службы оборудования и вероятности возникновения аварий.

В рамках работы планируется изучить современные методы повышения эффективности электрических систем, включая использование возобновляемых источников энергии и цифровых технологий. Также предполагается разработать рекомендации по модернизации системы электроснабжения для повышения её устойчивости и энергетической эффективности.

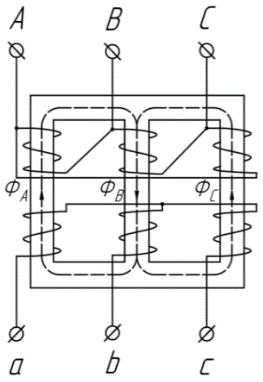
Метод модернизации, технология	Преимущества	Недостатки
Интеллектуальные сети (Smart Grid)	Снижение потерь в сети	Высокая стоимость
	Автоматическое восстановление питания	Уязвимость к кибератакам
	Адаптирование систем к использованию ВИЭ	Необходим квалифицированный персонал
	Возможность удаленного мониторинга	
Цифровые подстанции	Повышение надежности и устойчивости систем	Дорогостоящая модернизация
	Снижение эксплуатационных затрат	Зависимость от программного обеспечения
	Удаленное управление и диагностика	Риск технических неисправностей
ВИЭ	Снижение зависимости от ископаемых источников	Переменная генерация (зависит от погоды)
	Экологическая чистота	Высокая стоимость для аккумулирования энергии
	Возможность создания автономных сетей	Высокая стоимость
Цифровые двойники	Повышение устойчивости электрической сети	Риск каскадных аварий в протяженных сетях
	Снижение стоимости электроэнергии	
	Упрощение проведения диагностики	Высокая стоимость
	Прогнозирование потребления, износа оборудования и аварий	

Модернизация электрических сетей в условиях растущего спроса на электроэнергию и внедрение ВИЭ способствует стабильности, надежности и устойчивости энергоснабжения. Современные технологии обеспечивают эффективное управление энергопотоками, снижают потери энергии и адаптируют энергосистемы к изменениям. В то же время использование современных технологий сопряжено с высокими инвестиционными затратами, киберугрозами и необходимостью квалифицированного персонала для обслуживания систем.

Развитие электрических сетей является необходимым шагом для создания надежной и безопасной инфраструктуры, способной удовлетворять потребности общества.

Влияние различных методов задания параметров магнитных сердечников на характер переходных процессов пуска трансформаторов

Автор: Софронов Александр Андреевич, магистрант кафедры №32
Научный руководитель: Мартынов Александр Александрович, доц., к.т.н., доц.



Сердечник трансформатора

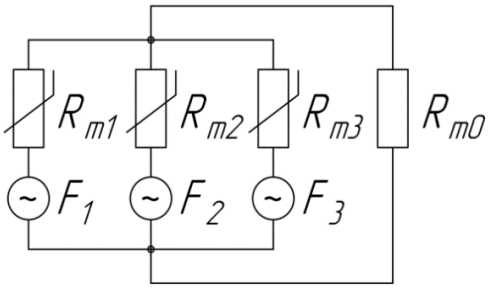
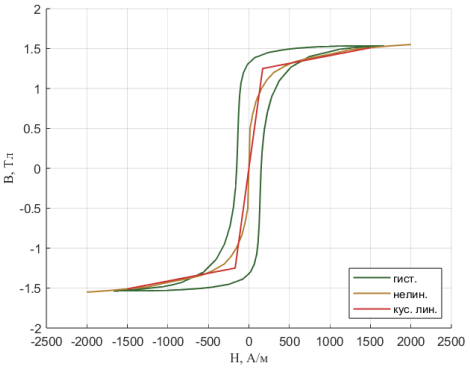
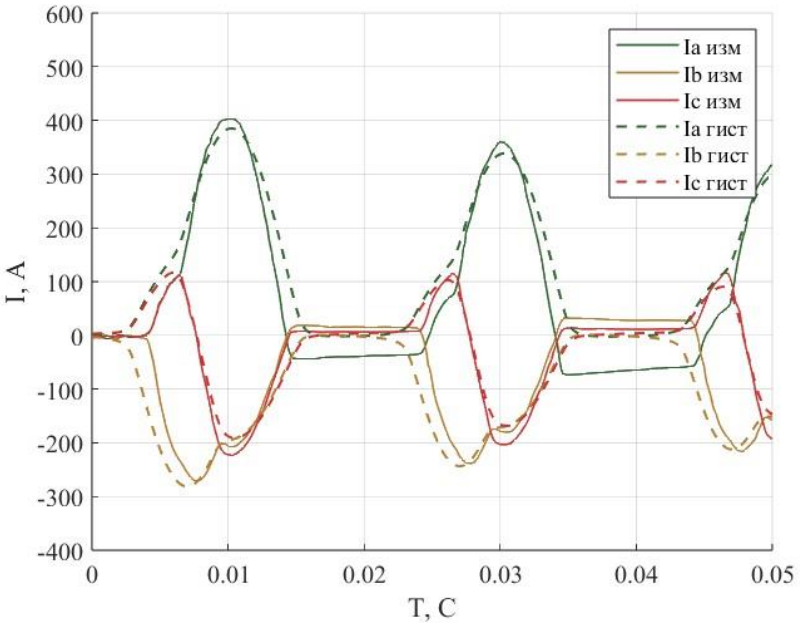


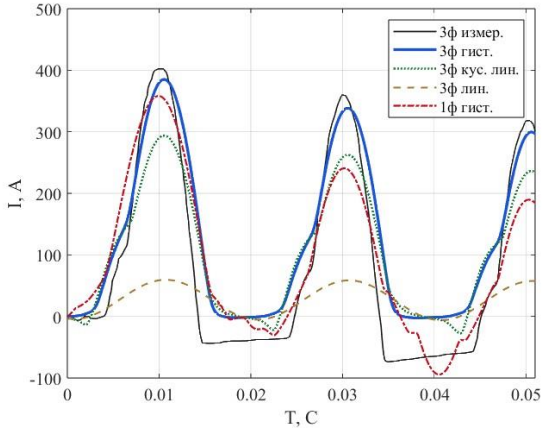
Схема замещения магнитной системы трансформатора



Кривая намагничивания для сердечника трансформатора



Трёхфазный сердечник и модель Джайлса-Атертона



Ток фазы с наибольшим броском при различных моделях сердечника

Среднеквадратичное отклонение тока, А			
Тип сердечника	фаза A	фаза B	фаза C
3Ф гистерезис	58.09	50.01	24.51
3*1Ф гистерезис	60.12	94.02	88.36
3Ф нелинейная	66.81	68.42	62.26
3Ф линейная	142.57	97.34	81.65

Ошибка амплитудного значения первого броска тока, %			
Тип сердечника	фаза A	фаза B	фаза C
3Ф гистерезис	4.29	-3.84	14.38
3*1Ф гистерезис	10.93	-28.83	22.29
3Ф нелинейная	26.97	-10.83	36.38
3Ф линейная	85.21	78.07	85.54

Наилучший результат среди рассмотренных моделей дал трехстержневой сердечник с применением нелинейного магнитного гистерезиса Джайлса-Атертона.

- Наклон кривой намагничивания и точка насыщения определяют амплитуду бросков пускового тока
- Наклон кривой намагничивания в на линейном участке и значение коэрцитивной силы определяют форму и характерные участки тока при пуске

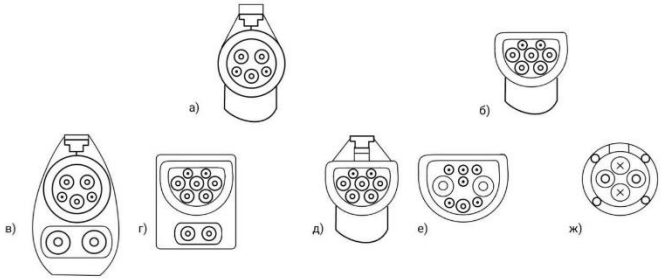
Исследование технологии электрических зарядных станций постоянного тока

Завалишинские чтения

Д. И. Старощук – студентка кафедры электромеханики и робототехники
С. В. Солёный – заведующий кафедрой электромеханики и робототехники – научный руководитель
А.П. Бобрышов – ассистент кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

Государственный университет аэрокосмического приборостроения

Классификация зарядных станций



Виды разъемов: а) Type 1 (Япония и Северная Америка) ; б) Type 2 (Германия) ; в) CCS combo Type 1 (Европа) ; г) CCS combo Type 2 (Европа); д) GB/T AC (Россия и Китай); е) GB/T DC (Россия и Китай); ж) CHAdeMO (Япония)

Наиболее перспективным и востребованным видом ЭЗС являются зарядные станции постоянного тока. Они построены по модульному принципу, для обеспечения выходной мощности 50-150 кВт.

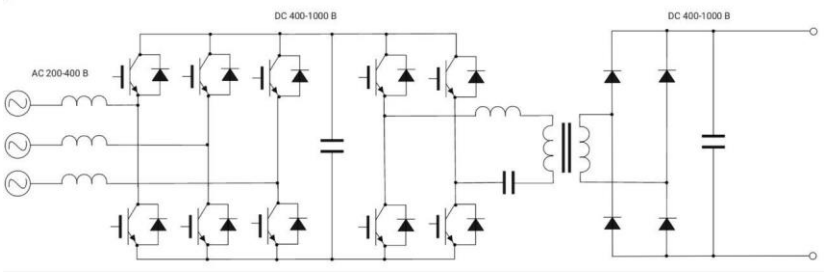
Достоинства

+ Высокая мощность;
+ Скорость зарядки;
+ Управление процессом заряда;
+ Многоступенчатые методы зарядки;
+ «Умная» зарядка;

Недостатки

- Перегрев;
- Необходимость наличия соответствующей мощности электрической инфраструктуры;
- Проблема оптимизации алгоритмов;
- Проблема совместимости электромобиля и зарядной станции;
- Проблема процесса аутентификации;
- Угроза кибератак.

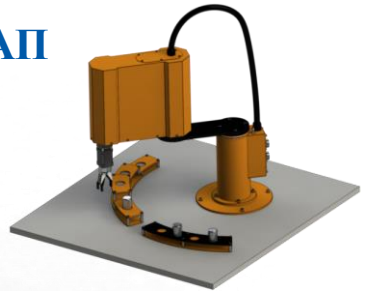
AC/DC инверторы преобразуют переменный ток (AC) из сети в постоянный ток (DC) для зарядки электромобиля. DC/DC инверторы используются для управления напряжением и током, обеспечивая оптимальные условия зарядки. Входной трехфазный переменный ток с напряжением от 200 до 400 вольт преобразуется в постоянный ток с напряжением от 400 до 1000 вольт.



Структурная схема преобразователя

Разработка системы управления SCARA-роботом

Работу выполнил: Филиппова А.Н., магистр кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП
Научный руководитель: Савельев Н.В., доцент, к.т.н.



Цель работы:
Разработать адаптивную систему управления SCARA-роботом

Актуальность:
SCARA-роботы широко используются в сборочных линиях, электронике, упаковке и производстве.

Главные преимущества:
Высокая точность, скорость и компактность.

Аппаратная часть системы управления

Области применения SCARA-роботы:

- сборка
- упаковка
- пайка
- обработка материалов и прочие технологические процессы

Эффективность внедрения SCARA-роботов в различные производственные процессы.

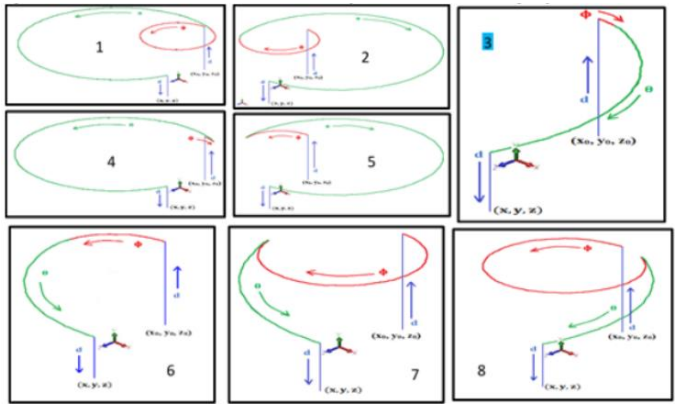
Все компоненты интегрируются в модульную структуру для гибкого управления движением и обработки обратной связи.

Кинематика

$\theta_2 = arccos\left(\frac{x^2+y^2-L_1^2-L_2^2}{2L_1L_2}\right)$ - уравнение обратной кинематики

$x = L_1cos(\theta_1) + L_2cos(\theta_1+\theta_2)$
$y = L_1sin(\theta_1) + L_2sin(\theta_1+\theta_2)$
уравнения прямой кинематики

Используется обратная кинематика для точного позиционирования инструмента в рабочей зоне. Траектория определяется в декартовой системе координат.



Разработанная система управления SCARA-роботом может быть использована в гибких производственных системах и в проектах цифровой трансформации.

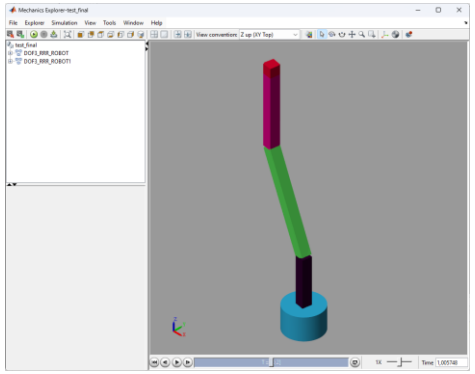
Сравнительный анализ эффективности PID-регуляторов и метода Computed Torque Control при управлении многозвенным роботом-манипулятором

Завалишинские чтения

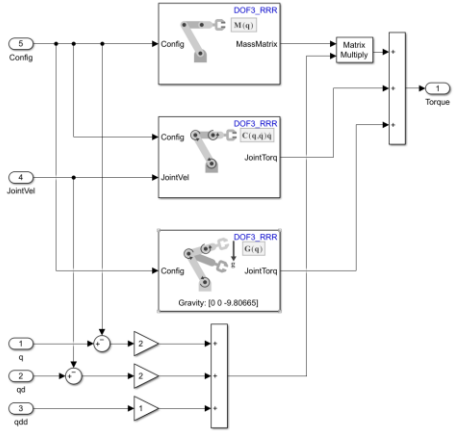
Работу выполнил: Шевкун Олег Александрович, студент
Научный руководитель: Савельев Николай Вячеславович, доцент, К.Т.Н.

Современная робототехника требует высокой точности управления, особенно в условиях нелинейной динамики и сложных кинематических схем. PID-регуляторы широко применяются, но теряют эффективность при наличии динамических возмущений. Метод Computed Torque Control (CTC) позволяет компенсировать такие возмущения, однако требует математического моделирования.

В ходе работы требовалось провести сравнительный анализ эффективности традиционного PID-регулирования и метода Computed Torque Control при управлении многозвенным роботом-манипулятором.

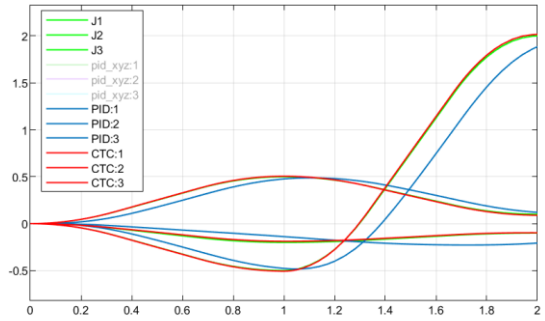


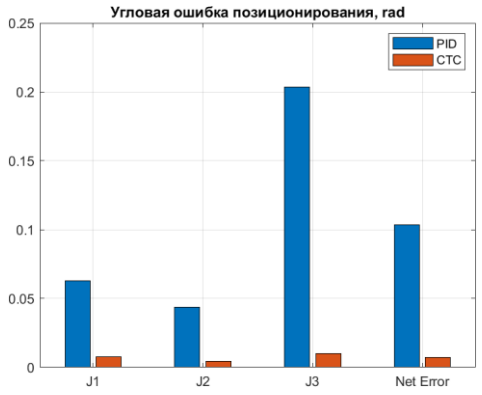
В работе была построена MATLAB модель трехзвенного манипулятора для которого были реализованы схемы управления PID и CTC.

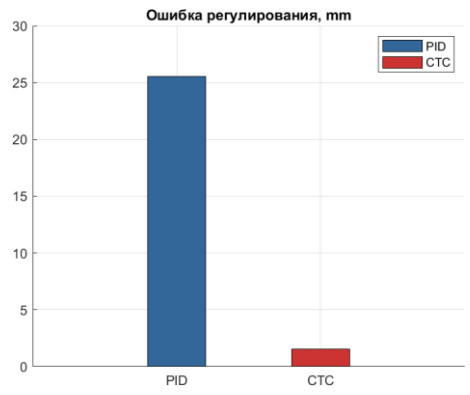


PID-регуляторы, несмотря на простоту, оказались менее точными в условиях динамических нагрузок из-за неспособности компенсировать взаимовлияние звеньев и гравитационные силы. CTC, основанный на динамической модели, показал значительно более высокую точность: среднеквадратичная ошибка углового положения — 0.42° против 6.2° у PID, ошибка позиционирования — 1.6 мм против 25.5 мм.

По результатам исследования можно сделать вывод что для многозвенных манипуляторов с высокими требованиями к точности предпочтительны методы с динамической компенсацией (CTC). Однако на практике их реализация требует точной идентификации параметров системы, что может быть затруднительным.





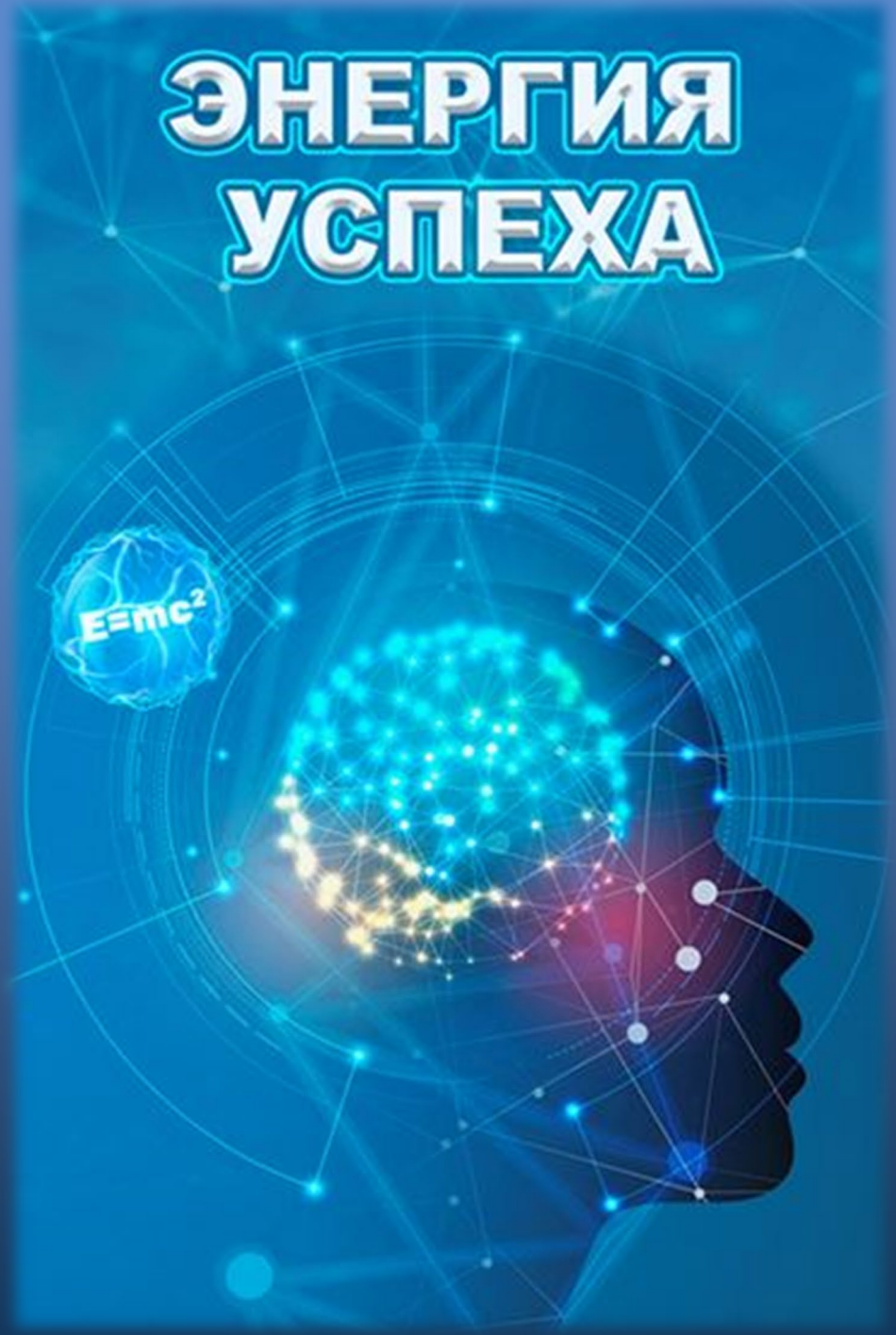


Среднеквадратичная ошибка позиционирования на протяжении движения манипулятора по траектории для метода CTC составила более чем на порядок меньше чем для PID

Инженерная школа ГУАП

ГУАП

ЭНЕРГИЯ УСПЕХА



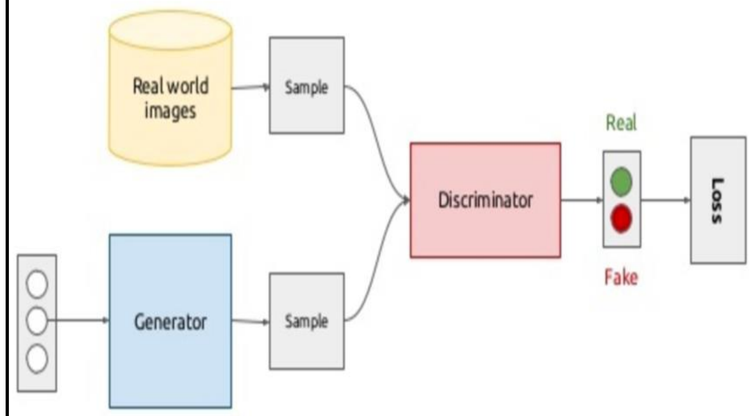
Генерация изображений при помощи ИИ

Завалишинские чтения

Работу выполнил: Алексеев Даниил Михайлович, ученик 9 класса ГБОУ гимназии №330
Научные руководители: Лизько Владимир Николаевич, Лебедев Вячеслав Романович, магистранты кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Актуальным данная тема является по следующим причинам: Во-первых, что генерация изображений с использованием нейросетей является инновационным инструментом для художников, дизайнеров и маркетологов, позволяет создавать и редактировать визуальный контент с минимальными затратами времени. Во-вторых, современные модели нейросетей, такие как генеративные состязательные сети (GAN), являются частным примером развития технологий, основанным на нечёткой логике, которая обладает преимуществами в адаптивности и обучаемости. В-третьих, объём рынка нейросетевых технологий с каждым годом растёт увеличивающимися темпами, что изображено на рисунке ниже.

Целью работы является изучение методов генерации изображений с использованием нейросетей. Рассматриваются классические алгоритмы и современные нейросетевые подходы, такие как GAN и VAE. Исследуются различные применения генерации изображений в искусстве, дизайне и рекламе. Работа предоставит обзор ошибок в генерации изображений и их потенциала для дальнейшего развития и практического применения.



Генеративно-состязательная модель

GAN (Generative Adversarial Networks) и **VAE (Variational Autoencoders)** — генеративные модели для создания новых данных. GAN состоит из генератора и дискриминатора, которые соперничают, улучшая результат. VAE кодирует данные в латентное пространство и восстанавливает их, минимизируя различия и регулируя пространство для генерации новых данных.

Ошибки в работе генеративных нейросетей возникают ввиду природы нечёткой логики. Пример: обрабатывается 10 тысяч изображений столов и выявляет простейшие закономерности: это предмет мебели, который может иметь разную форму и разное количество ножек: одну, две, три, четыре и более. Но нейросеть не может однозначно связать стол с категорией с окружением, либо учитывать, что за столом обычно происходит. Из-за этого при генерации появляются ошибки, которые человеку кажутся очевидными. Например, неправильная геометрия стола и его расположение по отношению к другим предметам. Другой частый пример возникновения ошибки: нейросеть рисует случайное появление у персонажа лишней конечности, неестественно изогнутых пальцев, покосившиеся глаза или непропорциональных плеч. Это происходит из-за того, что нейросеть, просматривая сотни картинок, стоп-кадров, в том числе размытых, может принять такое за часть нормы. **Сама нейросеть не обладает абстрактным мышлением и не знает анатомию человека**, а ориентируется лишь на обучающие изображения.

В заключении, можно предположить, что будущее генерации изображений с помощью ИИ обещает высокое качество и реализм благодаря развитию алгоритмов, таких как GAN. Однако, на данный момент нейросеть не может создавать готовый результат по умолчанию, и нуждается в контроле человека. В будущем сгенерированные изображения станут обыденностью в таких сферах, как реклама и дизайн. Это может привести не только к повышению производительности труда, но и к этическим проблемам, такой как авторское право.

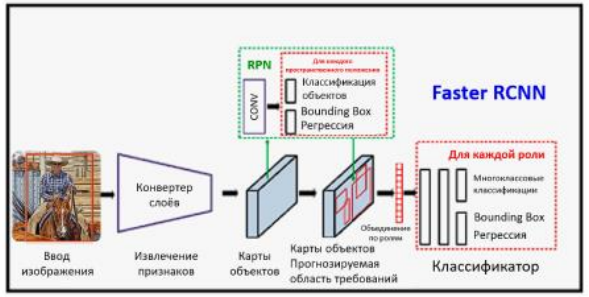
Искусственные нейросети для распознавания объектов

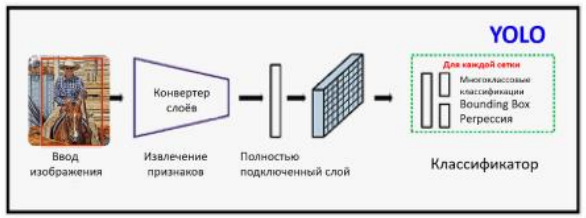
Выполнил: Алексеев Р.А., ученик 9 «Д» класса ГБОУ СОШ № 693
Научный руководитель: Александров Н.В., магистр кафедры 3424М, ГУАП

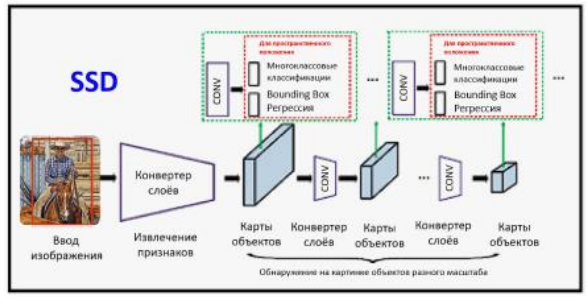
Актуальность:
Распознавание объектов — одна из ключевых задач компьютерного зрения. Искусственные нейросети позволяют автоматизировать анализ изображений и видео с высокой точностью. Эти технологии находят применение в медицине, транспорте, безопасности и других сферах.

Цель работы:
Изучить применение нейросетей для распознавания объектов и реализовать модель, способную точно определять объекты на изображениях и в видеопотоке.

Задачи:
- Изучить архитектуры нейросетей (CNN, YOLO, SSD)
- Собрать и подготовить данные
- Обучить и протестировать модель
- Оценить точность и практическую применимость







СОВРЕМЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ:

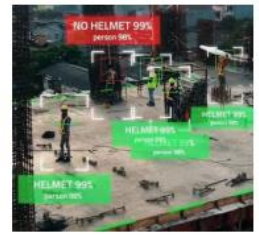
Faster R-CNN:
- Генерирует области-кандидаты (где могут быть объекты).
- Определяет класс объекта и уточняет границы bounding box'ов.

YOLO:
- Изображение делится на сетку.
- Каждая ячейка предсказывает несколько bounding box'ов и вероятности классов.
- Объект относится к ячейке, где его центр находится.

SSD:
- Использует многослойные признаки (feature maps) разных масштабов для обнаружения объектов.
- Каждый слой отвечает за определённый размер объектов: глубокие слои — крупные объекты, мелкие — небольшие

NTECH LAB Нейросеть российской компании NTechLab, которая работает с городской сетью камер в Москве, позволяет выявлять нарушителей.

Center 2M
Система промышленной видеоаналитики отслеживает производственный процесс в режиме реального времени и передает автоматическое оповещение в ситуационный центр.



SkinVision
Нейросеть SkinVision помогает обнаружить признаки наиболее распространённых видов рака кожи (но это не диагноз) по фото с камеры телефона.

КРИБРУМ Российский сервис мониторит и анализирует данные и аналитическим центром изучения социальных медиа.

Препятствия для широкого применения:
1. Ограничения в точности распознавания
2. Высокие требования к данным
3. Вычислительные и энергетические затраты
4. Этические и правовые риски
5. Сложность интерпретации

Пути решения

Оптимизация энергопотребления

Нейроморфные архитектуры с элементами биологических систем

Улучшенные алгоритмы распознавания

Интерпретируемые модели

Автономное обучение и генерация данных

Гибридные системы (ИИ + традиционные алгоритмы)

«Системы «Умный дом». Обзор технологий для создания энергоэффективных и автоматизированных домов»

Завалишинские чтения

Работу выполнил: Арыков Л.Д, ученик 9 класса ГБОУ СОШ №693
Научный руководитель: Новиков Д.А., магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Актуальность:
Энергоэффективный дом — это жилище, спроектированное и оборудованное таким образом, чтобы минимизировать количество потребляемой энергии.

Цель:
Создание безопасного пространства, с большим функционалом и удобством пользования.

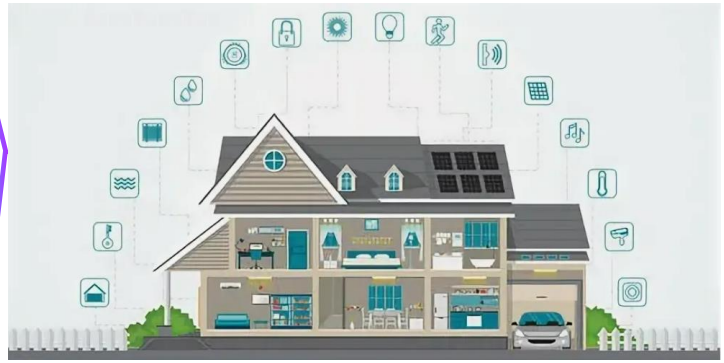
Задачи:
- Рассмотреть, существующие решения, используемые для умного дома
- Привести реальные кейсы успешного применения энергоэффективных и автоматизированных «умных» домов

Энергоэффективный дом — это здание, выполненное так, чтобы в нем поддерживался комфортный микроклимат при минимальных затратах электроэнергии.

Машинное обучение

Умная кухня
- Холодильник
- Вытяжка
- Духовой шкаф и плита
- Кухонная мойка

Умные бытовые приборы
- Стиральная машина
- Чайник
- Пылесос
- Кормушка для питомца



Энергопотребление
- Освещение
- Климат-контроль

Безопасность
- Видеокамеры
- Розетки
- Датчики протечки
- Замки и дверные замки
- Датчики пожара

Заключение: Системы «Умный дом» представляют собой современное решение для создания комфортной, безопасной и энергоэффективной среды обитания. Технологии, лежащие в основе его функционирования, продолжают развиваться, что открывает новые возможности для повышения качества жизни и автоматизации. Внедрение систем «Умный дом» - это шаг в будущее, где технологии служат человеку для улучшения условий его жизни, не нанося вреда окружающей среде.

Значение роботов в современном мире

Работу выполнил: Арюткин Иван Михайлович, ученик 9 класса ГБОУ СОШ №693
Научный руководитель: Давыдов Владислав Александрович, магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Введение:

Роботы стали неотъемлемой частью современной жизни, проникнув в промышленность, медицину, быт и освоение космоса. Развитие технологий делает их более автономными и доступными, открывая новые возможности. Роботы повышают эффективность, снижают затраты и способствуют научным исследованиям. Внедрение роботов ставит перед обществом вопросы об изменении рынка труда, этических нормах и равном доступе к технологиям.

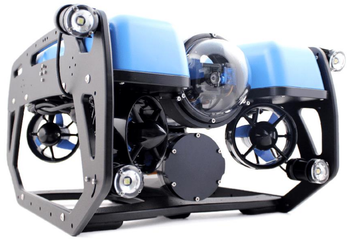
Актуальность заключается в том, что с каждым годом автоматизация и роботизация становятся все более интегрированными в различные сферы жизни, от промышленности до медицины, что требует осознания их влияния на различные отросли трудовой деятельности

Цель проекта: Исследовать роль и значение роботов в современном мире, анализируя их влияние на различные сферы жизни, такие как промышленность, медицина, образование и быт, а также оценить перспективы развития робототехники и ее влияние на общество в целом.

Перспективы и опасности использования роботов в будущем:

Перспективы	Опасности
• Развитие ИИ и автономных систем • Персонализированная медицина • Освоение экстремальных сред • Доступность технологий • Симбиоз машины и человека • Умные города и инфраструктура	• Массовая безработица • Потеря навыков человеком • Киберугрозы • Этические проблемы • Социальное расслоение • Экологические риски

Робот-сварщик FANUC ARC Mate.



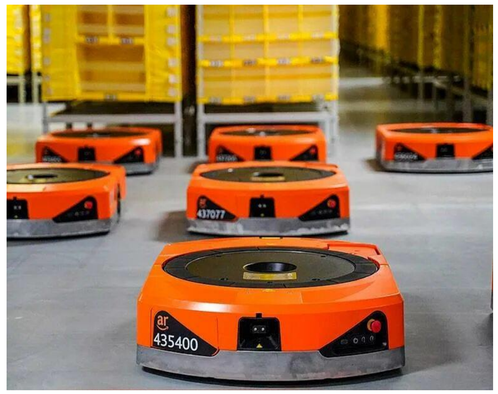
Подводный робот BlueROV2

Социальный робот Pepper

Разновидности современных роботов

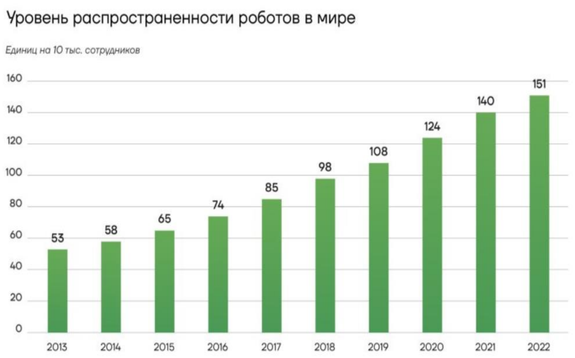
Робот-упаковщик KUKA KR QUANTEC

Хирургический робот Da Vinci

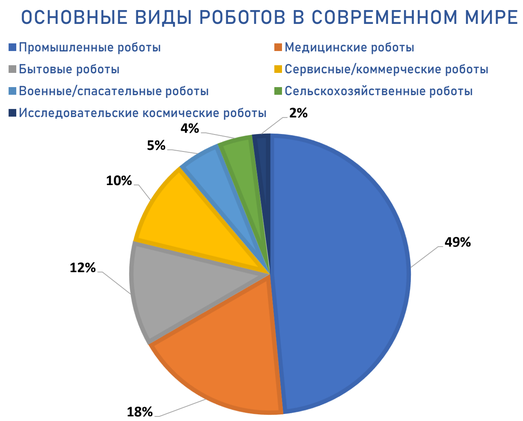


Автономный складской робот Amazon Hercules

Немного статистики:



На графике видно, что с каждым годом количество роботов продолжает увеличиваться, что свидетельствует о развитии робототехники в мире и о том, что в будущем мы можем ожидать появления новых технологий, которые помогут нам справиться с вызовами, с которыми мы сталкиваемся каждый день.



Главное значение роботов — расширение пределов человеческих возможностей!

Тезисы, отражающие основные роли роботов в различных сфера жизни человека:

1. Повышение эффективности, снижение затрат и ошибок в промышленности за счёт роботизированных линий и систем.
2. Использование роботов для точных операций, протезирования и помощи людям с ограниченными возможностями.
3. Замена человека при ликвидации аварий, разведке в зонах катастроф, космосе, глубоководных исследованиях.
4. Роботы-пылесосы, умные системы управления домом, сервисные роботы (доставка, уборка), упрощающие повседневную жизнь.
5. Использование робототехники для обучения, экспериментов и решения сложных задач (например, в AI, биологии, инженерии).
6. Применение роботов для мониторинга окружающей среды, переработки отходов и контроля за использованием ресурсов.

Роботов можно назвать «мостом», на одном берегу которого человеческие амбиции и локальные задачи, а на другом физические пределы и глобальные цели. Однако их настоящее предназначение заключается не в замене человека, а в усилении его потенциала. Будущее, где роботы и люди сосуществуют, зависит от баланса: технологический рывок должен сочетаться с сохранением гуманистических ценностей, а инновации - с защитой прав и свобод. Роботы - это лишь инструмент, и только от человечества зависит, станут они орудием разрушения или ключом к новой эре сотрудничества.

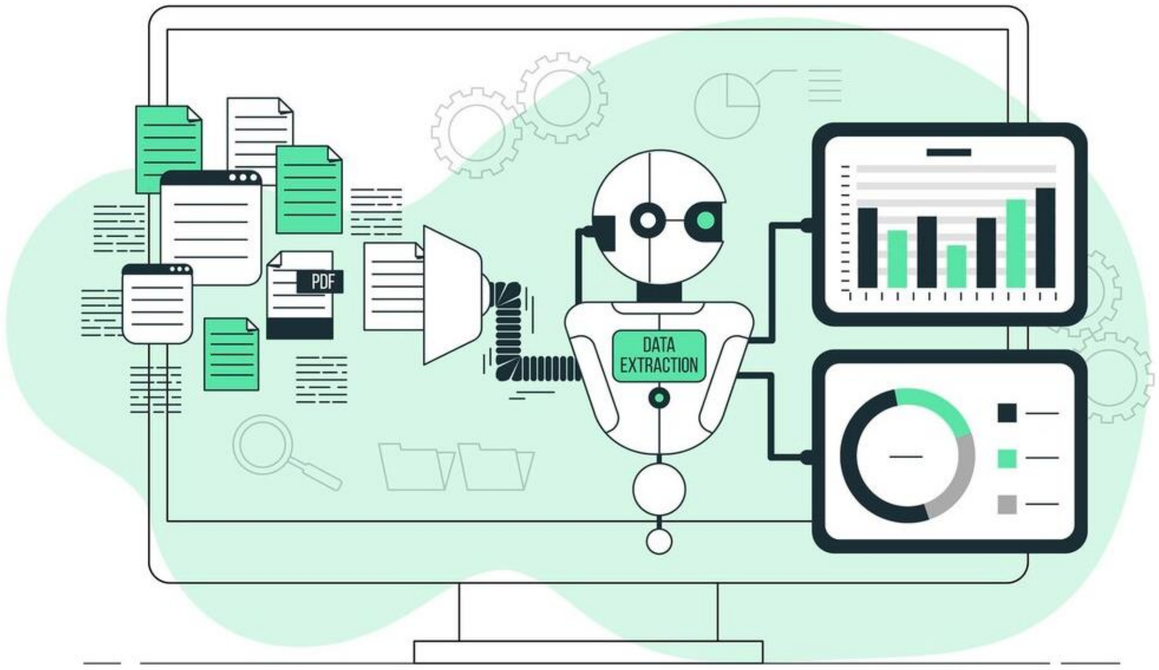
Использование нейронных сетей для анализа и обработки больших данных

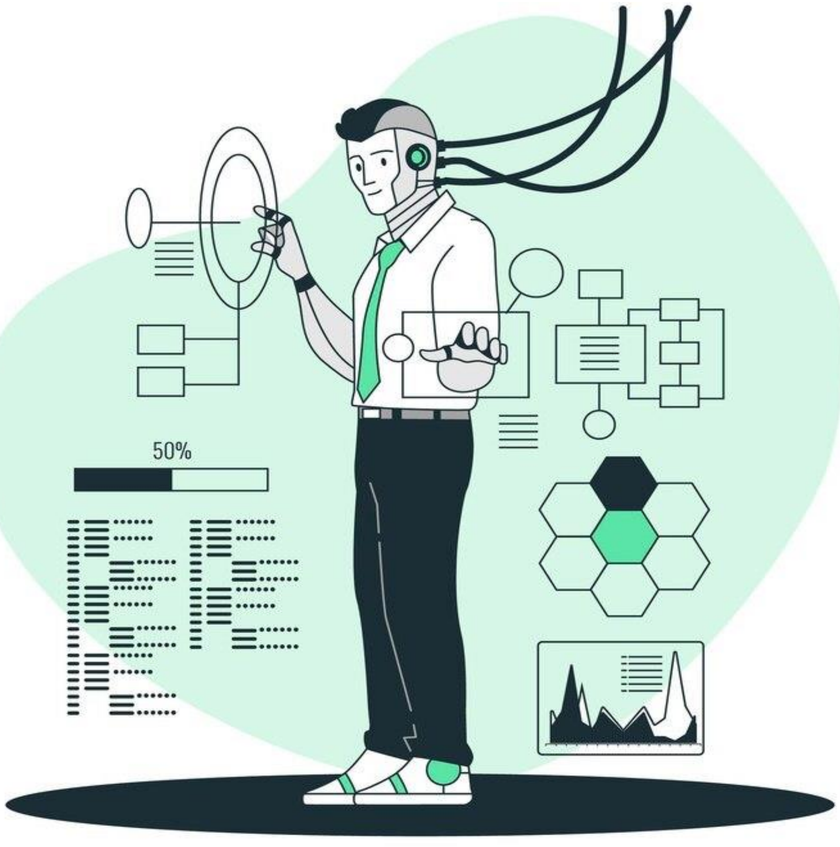
Работу выполнил: Д. И. Кирсанов, ученик 9 класса ГБОУ Лицей № 486

Научный руководитель: М. А. Монахов, магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Преимущества использования нейронных сетей:

- Обработка неструктурированных данных: Нейронные сети, особенно сверточные и рекуррентные, прекрасно справляются с анализом таких данных, извлекая из них полезную информацию
- Автоматизация анализа: Нейронные сети способны автоматически обучаться на данных, что снижает необходимость в ручной настройке и предварительной обработке. Это позволяет аналитикам сосредоточиться на интерпретации результатов, а не на подготовке данных.
- Выявление сложных закономерностей: Нейронные сети могут обнаруживать скрытые зависимости в данных, которые могут быть неочевидны при использовании традиционных методов анализа
- Масштабируемость: Нейронные сети хорошо масштабируются для обработки огромных объемов данных. Современные архитектуры, такие как глубокие нейронные сети, могут эффективно использовать распределенные вычисления, что позволяет обрабатывать данные в реальном времени.





Применения нейронных сетей в анализе больших данных :

- Обработка изображений и видео
- Обработка текста и естественного языка
- Прогнозирование и анализ временных рядов
- Обнаружение аномалий и мошенничества

Преимущества использования нейронных сетей :

- Обработка неструктурированных данных
- Автоматизация анализа
- Выявление сложных закономерностей
- Масштабируемость

На основе анализа можно сделать вывод, что:

- Традиционные методы подходят для относительно небольших объёмов данных, в которых заранее известны закономерности или можно использовать простые математические модели.
- Искусственный интеллект становятся предпочтительными в случае с большими данными, когда необходимо выявлять сложные закономерности, работать с неструктурированными данными и решать задачи, требующие высокой точности и гибкости.
- Искусственный интеллект может значительно расширить возможности обработки данных, но его внедрение связано с большими требованиями к ресурсам и более сложными алгоритмами, в отличие от традиционных методов.

Преимущества и недостатки альтернативной энергии

Завалишинские чтения

Работу выполнил: Леонтьев Олег Владимирович, ученик 11 класса ГБОУ СОШ №43
Научные руководители: Алёшкин Артём Алексеевич, магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Актуальность:
Альтернативная энергия наносит меньше вреда окружающей среде, чем традиционна, поэтому её развитие просто необходимо.

Цель:
Определение всех преимуществ и недостатков альтернативной энергии. И способы её добычи и применения.

Альтернативная энергия, она же зелёная – это энергия, которую получают из источников, отличных от традиционных. В настоящее время около **29 процентов** электроэнергии поступает из возобновляемых источников

Общие преимущества: Экологичность(меньше вредных выбросов, меньше отходов), **экономия воды** (ТЭС и АЭС требуют огромного количества воды для охлаждения) **, сохранение природных ресурсов**

солнечная

1) Фотоэлектрические системы (солнечные панели)
2) Тепловые электростанции (гелиостаты)
3) Коллекторы (нагрев жидкостей/воздуха)

Главные преимущества:
- Абсолютно не требует воды
- Локальные панели занимают мало места
- Не зависит от ЛЭП
- Окупаются за 5-10 лет (срок службы ±30 лет)

Главные недостатки:
- КПД при морозе или в пасмурную погоду сильно падает
- Не работают ночью
- Медленнее традиционной энергетики вырабатывают энергию
- На данный момент дорогостоящие для установки
- Для создания панелей требуются редкие хим. Элементы
- Необходима постоянная проверка загрязненности панелей

ветровая

1) Наземные ветряные турбины
2) Оффшорные (морские) ветряки
3) Малые ветрогенераторы

Главные преимущества:
- Локальные турбины занимают мало места
- Окупается за 5–15 лет (срок службы ±25 лет)
- У ветряков высокая мощность
- Большой КПД (>50%)
- Позволяет децентрализовать энергоснабжение

Главные недостатки:
- Зависят от силы ветра
- Во время работы создают низкочастотный шум
- Пагубно влияют на летучих животных (лопасти могут убить их)
- Строительство ветропарков и инфраструктуры довольно дорого и сложно
- Генераторы некоторых типов требуют неодимовых магнитов, добыча которых вредна для экологии

гидроэнергия

1) Плотинные ГЭС
2) Деривационные ГЭС
3) Приливные, волновые на основе морских течений

Главные преимущества:
1) а) Высокая мощность
   б) Водохранилище позволяет регулировать выработку
   в) Высокий КПД (90%)
2) а) Сохраняют естественное течение реки
   б) Могут работать без постоянного контроля
   в) На одной реке можно разместить несколько ГЭС
3) а)Доп. защита побережья, может монтироваться в мост
   б) Сильно мощнее ветровой

Главные недостатки:
- Плотинные ГЭС очень дорогие
- Водохранилища могут затоплять деревни и города
- Плотинные требуют постоянного ухода и контроля
- Нарушение экосистемы (гибель птиц, рыб)
- Деривационный канал требует регулярной очистки
- Установки подводных конструкций очень сложна

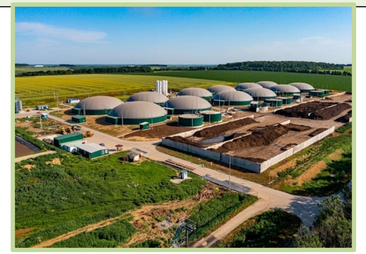
геотермальная

1) Гидротермальные системы
2) Петротермальные системы (сухие породы)

Главные преимущества:
- Стабильность выработки энергии
- Окупаемость за 5-10 лет (срок службы 30-50 лет)
- Универсальность (одновременно теплом можно отапливать дома и использовать его в сель. хоз.)
- Можно строить рядом с городами

Главные недостатки:
- Использование сильно ограничено географией (нужны горячие источники или разломы)
- Необходимо дорогое бурение скважин
- Может быть выброс сероводорода и других газов
- Низкий КПД (всего 10-20%)
- Для труб требуются дорогие сплавы
- Не всегда может возобновляться (если не управлять закачкой воды обратно)

биоэнергия



1) За счёт твердых биомасс
2) За счёт жидкого биотоплива
3) За счёт газообразного топлива
4) За счёт бытовых и промышленных отходов

Главные преимущества:
- Вместо утилизации биоотходов (солома, навоз, опилки), их превращают в энергию. Это приводит к сокращению свалок
- Разнообразие сырья и разнообразие производимой энергии (тепло, электричество, жидкое топливо)
- Простое и дешёвое строительство

Главные недостатки:
- Конкуренция с продовольствием (использование пищевых культур)
- Экологичность неполная (есть выброс CO_2)
- Очень низкое КПД (даже меньше чем у солнечной и ветровой энергетики)
- Требуется предварительная подготовка сырья

Заключение: Альтернативная энергетика — важный шаг к чистому будущему, помогая снизить вред экологии и зависимость от ископаемого топлива. Пока она не идеальна: дорогая, зависит от погоды и требует доработок, но технологии быстро развиваются — солнечные панели и ветрогенераторы становятся эффективнее, появляются новые способы хранения энергии. Будущее — за возобновляемыми источниками, и начинать переход нужно уже сейчас.

Модель умного дома на отладочной плате Arduino

Завалишинские чтения

Работу выполнили: Макаров Андрей Алексеевич и Ильичёв Сергей Алексеевич, ученики ГБОУ Лицея №384
Научный руководитель: А. Н. Филиппова, магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Основные функции умного дома:

- Управление **освещением**

Система умного дома автоматически регулирует освещение в зависимости от времени суток, уровня освещенности или присутствия людей в комнате.

- **Обеспечение безопасности**

Система умного дома включает датчики движения, видеонаблюдение, умные замки и сигнализацию.

- **Климат-контроль**

Система умного дома поддерживает оптимальную температуру и влажность в помещении, управляя отоплением, вентиляцией и кондиционерами.

Умный дом

это автоматизированная система управления всеми приборами в доме, которые объединены в единую экосистему. Система может сама принимать решения и выполнять определённые задачи без участия человека.

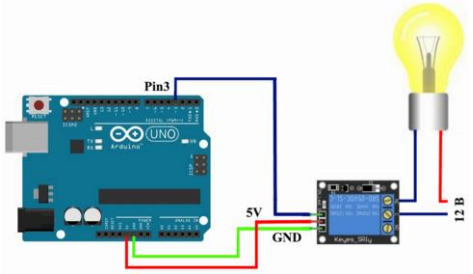
Проект «Модель умного дома на отладочной плате Arduino» демонстрирует возможности современных технологий автоматизации для создания комфортного, безопасного и энергоэффективного жилья.

- **Удаленное управление и мониторинг**

Система позволяет управлять устройствами и контролировать состояние дома через мобильное приложение или интернет

Работа системы

Каждый элемент отвечает за определенную функцию – от мониторинга до автоматического управления приборами.



Системы генерирования электроэнергии космических объектов

Завалишинские чтения

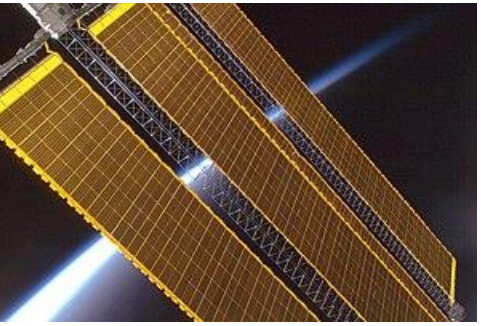
В эпоху освоения космоса автономное энергоснабжение аппаратов — ключевая задача для успешных научных, коммерческих и оборонных миссий. Космические объекты нуждаются в надежных системах генерации электроэнергии, работающих в условиях экстремальных температур, радиации и отсутствия традиционных источников энергии.

Цель работы — сравнить современные системы генерации энергии для космоса, оценить их плюсы и минусы, а также рассмотреть перспективы их развития.

Энергоустановка - Система космического аппарата, обеспечивающая питание других систем, во многом именно она определяет геометрию космических аппаратов, конструкцию, массу и срок активного существования.
Существует 3 основных типа энергоустановок:

- Солнечные батареи и аккумуляторы
- Топливные элементы
- Радиоизотопные электрические генераторы(РИТЭГ)

Солнечные батареи и аккумуляторы



Солнечная батарея на МКС

Солнечные батареи состоят из фотоэлементов - полупроводниковых устройств, преобразующих свет в постоянный электрический ток.
Аккумуляторная батарея играет роль стабилизатора напряжения бортовой сети, так как солнечные батареи работают не постоянно(из за затенения космических спутников Землёй и другими объектами.)
Мощность излучения Солнца на орбите Земли составляет 1367 Вт/м²(солнечная постоянная). Это позволяет получать примерно 130 Вт на 1 м² поверхности солнечных батарей (при КПД 8-13 %).
Недостатком является то, что солнечные батареи со временем деградируют под действием радиационного излучения и термических ударов(резкого перепада температур), что ограничивает срок их службы до нескольких лет. Но несмотря на это в настоящее время солнечные батареи в паре с аккумуляторами считаются одним из самых надёжных вариантов энергоустановок.

Топливные элементы

Топливные элементы обладают высокой удельной мощностью и оптимальными масса-габаритными характеристиками по сравнению с сочетанием солнечных батарей и аккумуляторов

Водородно-кислородная топливная ячейка

Топливные элементы обладают высокой удельной мощностью и оптимальными масса-габаритными характеристиками по сравнению с сочетанием солнечных батарей и аккумуляторов. Они устойчивы к перегрузкам, обеспечивают стабильное напряжение и работают бесшумно. Однако их использование требует запаса топлива, поэтому они подходят для космических аппаратов с миссиями продолжительностью от нескольких дней до 1–2 месяцев.
Чаще всего применяются водородно-кислородные топливные элементы, поскольку водород обладает наибольшей калорийностью, а образующаяся в результате реакции вода может использоваться на пилотируемых космических кораблях. Для нормального функционирования системы необходимо отводить выделяющиеся в процессе работы тепло и воду.
Ограничивающими факторами остаются высокая стоимость жидкого водорода и кислорода, а также сложность их хранения.

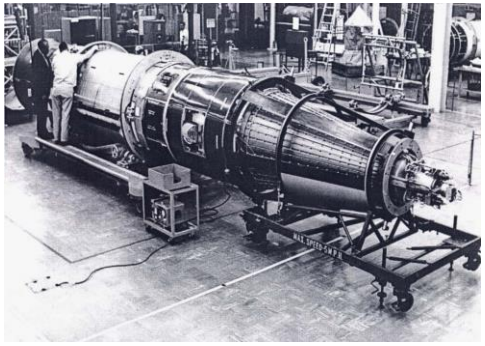
Радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ)

РИТЭГ — это устройство, преобразующее тепло от радиоактивного распада в электричество с помощью термоэлектрических элементов.
Радиоактивный изотоп (например, плутоний-238) испускает тепло при распаде.

Термоэлектрические элементы (термопары) преобразуют температурную разницу между горячей и холодной сторонами в электрический ток.
РИТЭГ применялись на таких космических аппаратах как: Вояджеры, Кассини, Кьюриосити
Из плюсов можно отметить Долговечность (десятилетия работы)Надёжность (нет движущихся частей)Независимость от солнечного света
Долговечность(десятилетия работы), надёжность(нет движущихся частей), независимость от солнечного света.
Минусы: Низкий КПД(~5-10%), высокая стоимость, радиоактивность(требует защиты и контроля).

Перспективные разработки

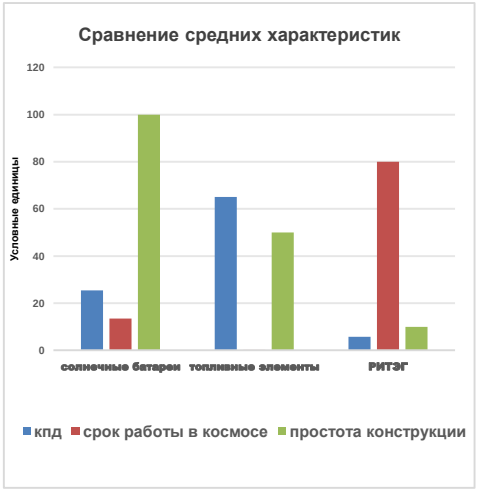
Суперконденсатор



Ядерный реактор-преобразователь «Топаз»

В настоящее время ведутся активные исследования в области электроустановок.
С развитием технологий наблюдается стремление к увеличению мощности и эффективности энергетических систем космических аппаратов. Разрабатываются новые материалы для солнечных батарей с повышенным коэффициентом полезного действия, совершенствуются технологии накопления энергии, включая использование суперконденсаторов и новых типов аккумуляторов.
Кроме того, ведутся исследования по созданию компактных и безопасных ядерных энергоустановок для длительных миссий в глубокий космос.

Сравнительный анализ энергоустановок



Заключение

У каждой энергоустановки есть свои плюсы, такие как: простота и надёжность солнечных батарей, КПД и мощность топливных элементов, и срок работы РИТЭГ, и каждая выполняет свои задачи: солнечные панели используются на орбитальных спутниках и МКС(с удалением от солнца падает эффективность), Топливные элементы используются в шаттлах и других , а РИТЭГ используются в полётах во внешнюю область солнечной системы и за её пределы.
Таким образом, энергетические установки являются ключевым компонентом космических аппаратов, от которых зависит успешность выполнения космических программ и исследований.

Работу выполнил: Марков Матвей Денисович, ученик 10 класса ГБОУ СОШ № 564
Научный руководитель: Погор Александр Родионович, магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Особенности беспроводных зарядных устройств

Работу выполнил: Рождественский Владислав Петрович, ученик 9 класса ГБОУ СОШ №693
Научный руководитель: Сологубов Николай Дмитриевич, магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Растущая популярность портативных устройств способствует широкому распространению беспроводных зарядных технологий. Эти устройства становятся всё более востребованными, так как позволяют уменьшить количество проводов и разъёмов, обеспечивая удобство использования и повышенную безопасность в повседневной эксплуатации.

В рамках данной работы планируется проанализировать принцип действия беспроводных зарядных устройств, определить их ключевые технические характеристики, рассмотреть преимущества и недостатки различных стандартов беспроводной зарядки, а также изучить возможные направления развития этой технологии.

Преимущества	Недостатки
Уменьшение количества проводов и возможных соединений	Скорость заряда медленнее, чем у проводных
Снижается риск короткого замыкания, из-за отсутствия токопроводящих жил	Гаджет, который заряжается, должен располагаться в определенном положении для более эффективной зарядки
Есть возможность зарядки различных устройств от одной зарядной станции	Несовместимо со старыми устройствами, в которых отсутствует функция беспроводной зарядки
Более эстетичный внешний вид	Высокая стоимость

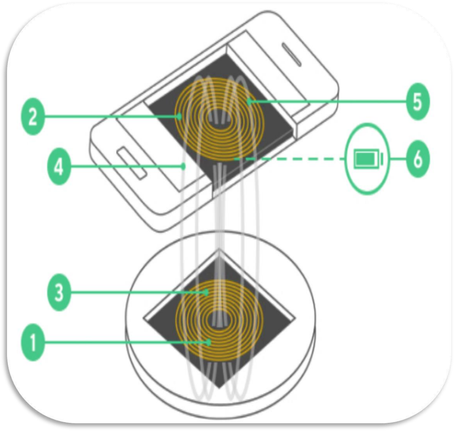


Рис. 1. Принцип работы беспроводной зарядки: 1 – катушка передатчика; 2 –катушка приемника; 3 – ток в катушке передатчика; 4 – электромагнитное поле; 5 – ток в катушке приемника; 6 – зарядка аккумулятора

Принцип работы.

Для зарядки устройство требуется разместить на специальной платформе. О начале заряда сигнализирует индикатор на платформе или устройстве. Работа беспроводного зарядного устройства основана на принцип электромагнитной индукции. Этот принцип был открыт Майклом Фарадеем еще в 1831 году: изменяющееся во времени магнитное поле порождает вихревое электрическое поле. А именно, при изменении во времени магнитного потока (Ф), пронизывающего поверхность, ограниченную замкнутым неподвижным проводником, в этом проводнике индуцируется ЭДС (ε_i), равная по величине и противоположная по знаку скорости изменения этого потока [3].

Зарядная станция получает питание от сети и передает его на катушку, создающую создает электромагнитное поле. У заряжаемого устройства также есть катушка, которая улавливает это поле и преобразует его в электрическую энергию для зарядки аккумулятора, как показано на рис. 1. Для корректной работы катушки должны находиться в непосредственной близости друг к другу.

Стандарты беспроводной зарядки:

Rezenze

Стандарт, разработанный инженерами Alliance for Wireless Power (A4WP). Его особенность в том, что он основан на электромагнитном резонансе, что позволяет повысить мощность и расширить зону передачи энергии. Это дает возможность одновременно заряжать нескольких устройств. Этот стандарт зарядки нашел применение в автомобильной отрасли.

Qi-технология

Самый распространённый стандарт беспроводной зарядки, передающий энергию на расстоянии до 4 см. Его представили в 2008 году, а разработкой занималась организация «Консорциум беспроводной энергии» Минимальная возможная мощность зарядных устройств стандарта Qi составляет 5 Вт, но чаще всего встречаются модели мощностью до 15 Вт.

MagSafe

Компания Apple усовершенствовала стандарт Qi. В данном случае применяются магниты, которые расположены на задней крышке смартфона и зарядной станции. Они помогают более точно расположить устройства между собой и контролировать положение в процессе зарядки, как показано на рис. 2.

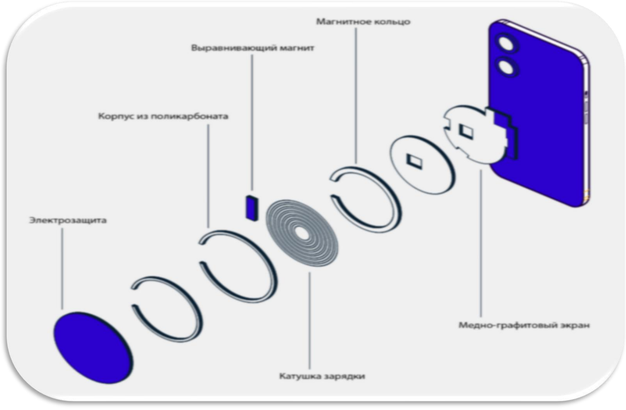


Рис. 2. Состав стандарта MagSafe

Скорость заряда можно повысить при помощи увеличения мощности, но основная проблема лежит в нагреве станции и устройств при зарядке. Перегрев уменьшает срок службы и увеличивает риск возгорания. Можно увеличить площадь магнитного поля, но тесты показали, что оно может влиять на другие устройства, к примеру отключать кардиостимуляторы.

Беспроводные зарядные станции сегодня приобретают всё большую популярность благодаря своей универсальности и способности сократить количество проводов. Однако такие устройства пока ограничены мощностью до 15 Вт, из-за риска перегрева и необходимости точного позиционирования. Современные разработки сосредоточены на повышении скорости зарядки, увеличении расстояния передачи энергии и обеспечении большей безопасности при эксплуатации.

Беспроводные способы передачи электроэнергии

Работу выполнил: Томша Владислав Эдуардович, ученик 11 класса ГБОУ «Академическая гимназия №56 им. М.Б. Пильдес»
Научный руководитель: Лебедев Вячеслав Романович, магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Актуальность: **в современном мире передача энергии осуществляется при помощи проводов. По мимо того, что производство проводов требует затраты ресурсов, их использование является неудобным в производстве и быту. Беспроводная передача энергии позволит экономить и ресурсы, которые тратятся на производство проводов, и пространство вокруг людей.**

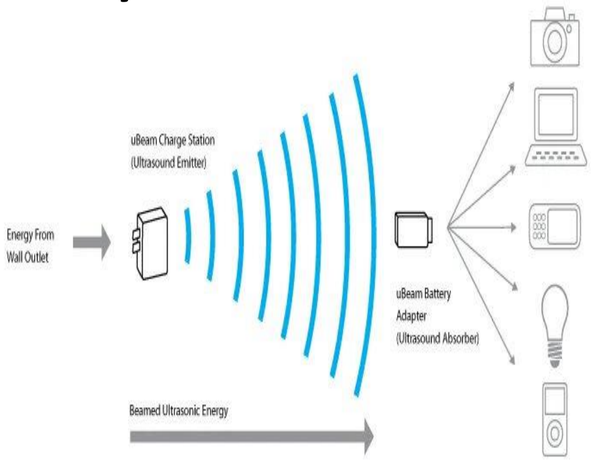
Цель: **Изучить способы беспроводной передачи электроэнергии**

Задачи проекта:

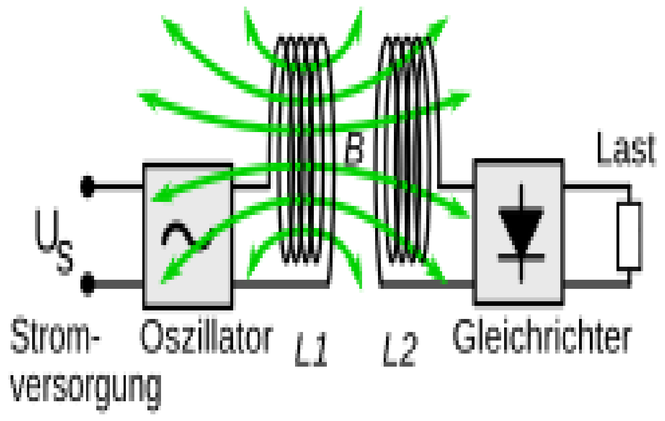
1. **Определить основные способы передачи энергии**
2. **Изучить принцип работы каждого способа**
3. **Рассмотреть преимущества и недостатки каждого способа**
4. **Найти схемы работы наиболее изученных способов**

Ультразвук

Передатчик излучает ультразвук; приёмник, в свою очередь, преобразовывает слышимое в электричество. На момент презентации данного способа расстояние передачи достигало 7—10 метров и была необходима прямая видимость приёмника и передатчика.

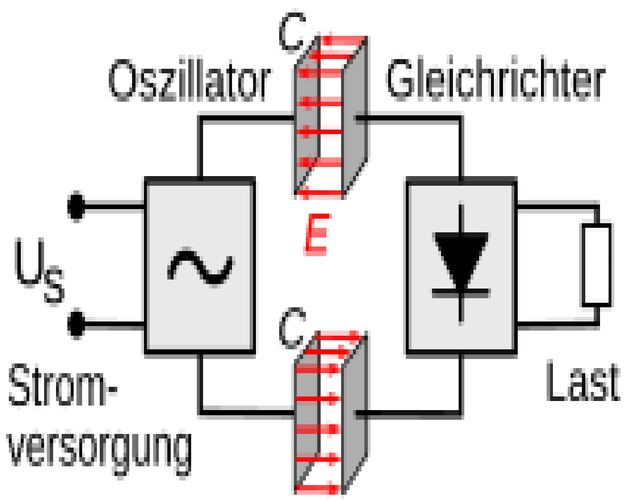


Электромагнитная индукция



Благодаря электродинамической индукции, переменный электрический ток, протекающий через первичную обмотку, создаёт переменное магнитное поле, которое действует на вторичную обмотку, индуцируя в ней электрический ток. Для достижения высокой эффективности взаимодействие должно быть достаточно тесным.

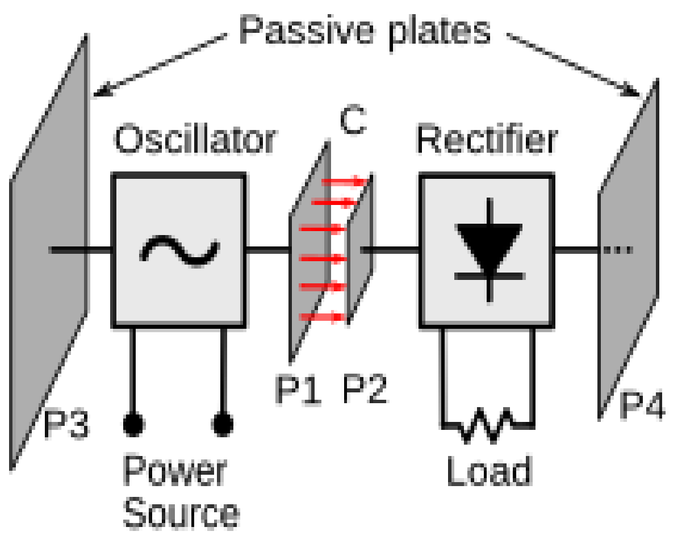
Электростатическая индукция



Электростатическая или ёмкостная связь представляет собой прохождение электроэнергии через диэлектрик.
Электрическое поле создается за счёт заряда пластин переменным током высокой частоты и высокого потенциала. Ёмкость между двумя электродами и питаемым устройством образует разницу потенциалов. Используется для передачи небольшого количества энергии. Изучалась Николой Тесла

Микроволновое излучение

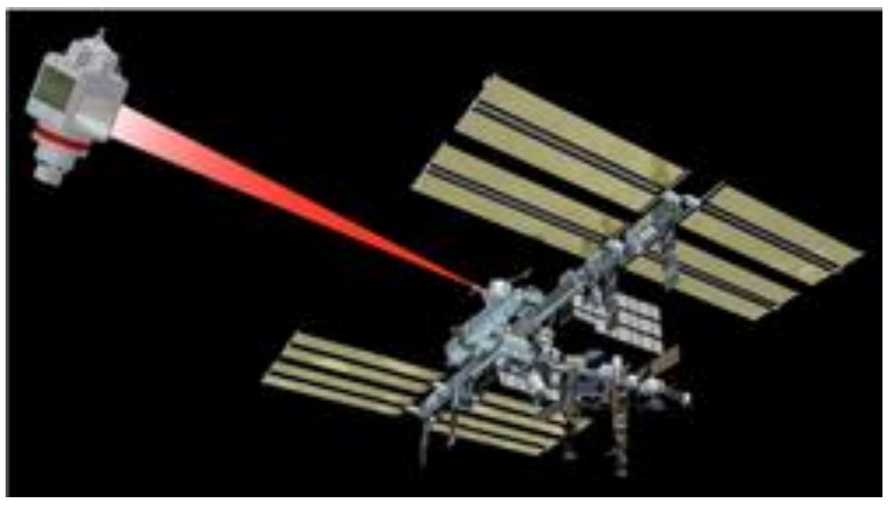
Радиоволновую передачу энергии можно сделать более направленной, значительно увеличив расстояние эффективной передачи энергии путём уменьшения длины волны электромагнитного излучения до микроволнового диапазона. Для обратного преобразования микроволновой энергии в электричество может быть использована ректенна, эффективность преобразования энергии которой превышает 95 %. Для использования в космических программах из-за дифракции необходима диафрагма большого размера.



Лазерный метод

Источник генерирует когерентный световой поток (лазер) и направляет на приемник, причем дальность передачи не ограничена. На стороне приемника световой поток улавливает фотоприемник (фотодиод или солнечная панель), после чего фотоприемник преобразует лазерное излучение в энергию
Важно учесть:

- распространение лазерного луча гораздо в меньшей степени зависит от дифракционных ограничений
- пространственное и спектральное согласование характеристик лазеров позволяют увеличить рабочую мощность и дистанцию
- длина волны влияет на фокусировку.



Заключение: Были изучены пять способов беспроводной передачи электроэнергии. Все из них не являются лучшими вариантами из-за своих недостатков

Машинное обучение: анализ существующих методов и принципа работы.

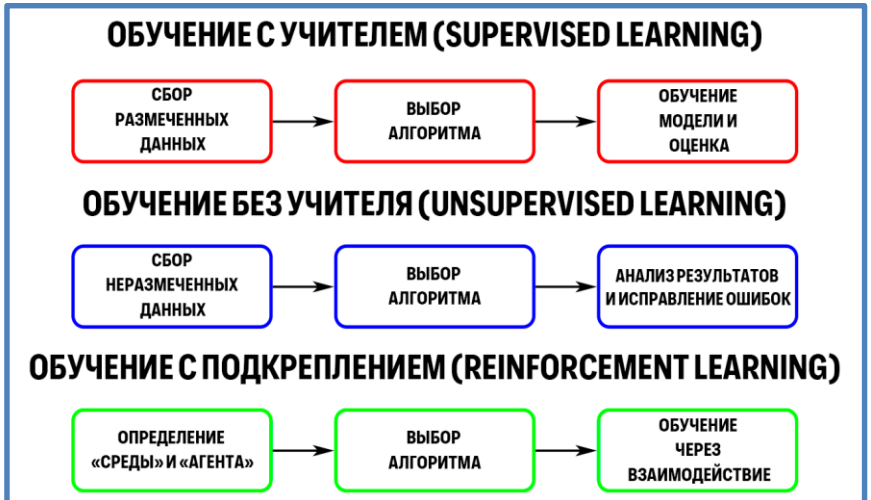
Работу выполнил: Чугунов А.Л. ученик 11 класса ГБОУ СОШ 489
Научный руководитель: И.С. Воробьёв, магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Актуальность:
Машинное обучение представляет собой одну из самых динамично развивающихся областей искусственного интеллекта, способную решать задачи, ранее доступные только человеку. Актуальность обусловлена растущими объемами данных и необходимостью их эффективной обработки во многих сферах деятельности.

Цель:
Рассмотреть значимость машинного обучения как инструмента для инноваций в различных сферах, оценить его текущие возможности и перспективы, а также проанализировать проблемы, с которыми может сталкиваться его внедрение.

Задачи:
- Изучить ключевые методы и принципы работы МО, включая обучение с учителем, без учителя и с подкреплением.
- Определить сферы применения МО, демонстрирующие его практическую ценность (медицина, финансы, робототехника).
- Проанализировать преимущества и недостатки технологии для выявления баланса между её возможностями и ограничениями.

Методы и принципы работы машинного обучения



Данные - информация, используемая для анализа, обучения и принятия решений.
Алгоритм - последовательность шагов для решения конкретной задачи.
Выборка - подмножество данных, выделенное для обучения или тестирования.
Среда - условия или пространство, где действует агент в обучении.
Агент - объект, который принимает решения и взаимодействует со средой.
Учитель - источник достоверной информации или размеченных данных, который помогает модели учиться на примерах с известными ответами.

Преимущества:

1) Снижение затрат времени на обработку данных и принятие решений.
2) Выявление паттернов, недоступных человеку (например, ранняя диагностика заболеваний).
3) Улучшение моделей по мере поступления новых данных (персонализация рекомендаций).

Проблемы развития:

1) Смещение или недостаток данных приводит к ошибкам (например, некорректные медицинские диагнозы).
2) Скрытый процесс обработки и генерации данных нейросетей затрудняет доверие к их решениям в критических сферах (здравоохранение).

Проблемы внедрения:

1) Обучение моделей требует мощных вычислительных мощностей.
2) Автоматизация рабочих мест, угрозы конфиденциальности данных, алгоритмическая дискриминация.

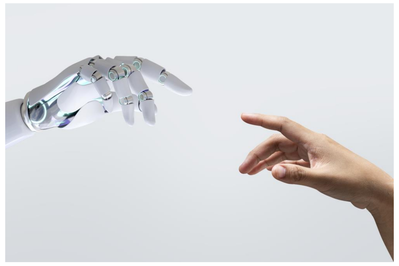
Заключение: Машинное обучение — технология, кардинально меняющая подход к решению задач в медицине, промышленности, экологии и других областях. Его способность к самообучению и анализу больших данных открывает безграничные возможности, но требует ответственного подхода к минимизации рисков.

Искусственный Интеллект

Работу выполнил: Шелегов Игнатий Денисович, ученик 9 класса ГБОУ СОШ №693
Научный руководитель: Бакланов Б.Р., магистрант кафедры Электромеханики и робототехники ГУАП

Актуальность:

Искусственный интеллект (ИИ) меняет мир, проникая во все сферы жизни. Он помогает в медицине, образовании и бизнесе, но одновременно создаёт новые вызовы: безработицу из-за автоматизации, угрозы приватности и зависимость от алгоритмов.



Цель проекта:

Исследовать влияние искусственного интеллекта на общество, определить его преимущества и риски, а также разработать рекомендации для безопасного и эффективного применения ИИ

Процесс работы ИИ включает:

1. Сбор данных
2. Подготовка данных
3. Обучение моделей
4. Тестирование и оптимизация
5. Работа в реальном времени

Достоинства ИИ:

1. Высокая скорость и точность обработки данных
2. Автоматизация рутинных операций
3. Улучшение качества решений
4. Повышение кибербезопасности
5. Создание инновационных технологий

Недостатки ИИ:

1. Риск сокращения рабочих мест
2. Угрозы конфиденциальности данных
3. Зависимость от качества информации
4. Высокая стоимость внедрения

Искусственный интеллект (ИИ) — это область компьютерных наук, которая занимается разработкой машин и программ, способных имитировать человеческое мышление и обучаться

Влияние искусственного интеллекта на ключевые сферы жизни

1. Медицина

- Ранняя диагностика заболеваний по анализам и снимкам
- Персонализированные схемы лечения
- Виртуальные медконсультанты и чат-боты
- Автоматизация документооборота в клиниках

2. Образование

- Индивидуальные программы обучения для каждого ученика
- Автоматическая проверка заданий и тестов
- Системы антиплагиата и прокторинга
- Интерактивные образовательные платформы

3. Транспорт и логистика

- Умное управление светофорами и потоками машин
- Прогнозирование и предотвращение аварий
- Оптимальные маршруты для перевозок
- Беспилотный транспорт и парковки

4. Бизнес и торговля

- Точные прогнозы спроса и продаж
- Персонализированные рекомендации покупателям
- Автоматизация службы поддержки
- Анализ отзывов и репутации бренда

Примеры использования

Искусственный Интеллект в Tesla

- Управление авто: руль, газ, тормоз
- Парковка и смена полосы
- Безопасность: датчики, экстренное торможение

Искусственный Интеллект в IBM Consulting

- Анализ данных клиентов
- Помощь в стратегиях
- Ускорение работы консультантов

Возможности развития:

- Формирование интеллектуальных систем нового поколения с возможностями:
  - Гибкой адаптации к изменяющимся условиям
  - Непрерывного самообучения
  - Естественного взаимодействия с людьми
- Трансформация всех сфер жизни в ближайшие 20-30 лет
- Автоматизация процессов создания и оптимизации алгоритмов

Основные угрозы:

- Риск потери контроля над развитыми ИИ-системами
- Возможная стагнация человеческого мышления
- Отсутствие у машин человеческих ценностей и сопереживания
- Опасность создания сверхинтеллекта с непредсказуемыми целями

Вывод

Искусственный интеллект кардинально меняет нашу жизнь, предлагая новые технологические возможности и улучшая её качество. Однако его развитие требует ответственного подхода, чтобы минимизировать риски для безопасности и приватности. Важно найти баланс между инновациями и контролем за их внедрением.