

Нагимов Руслан Рафаэлевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ
ПРОЦЕССОВ ГЕЛИЕВОГО ОЖИЖИТЕЛЯ/РЕФРИЖЕРАТОРА
СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук**

Научный руководитель: д. т. н., проф. Архаров Иван Алексеевич

Целью работы является исследование методов оптимизации гелиевых криогенных систем для криостатирования сверхпроводящих элементов ускорителей заряженных частиц с целью повышения их энергетической эффективности и снижения потребления электрической мощности.

Задачи работы:

- Проанализировать методы математического моделирования криогенных систем с учетом нестационарности рабочих процессов, определить структурную схему математической модели исследуемой криогенной системы.
- Для неявно заданной математической модели криогенной системы определить набор необходимых экспериментальных данных и создать модели ее структурных элементов.
- Разработать программный комплекс для автоматизированного определения требуемых экспериментальных характеристик с использованием стандартной системы управления.
- Создать математическую модель криогенной системы линейного ускорителя ARIEL с учетом нестационарности рабочих процессов и проверить корректность данной модели.
- Определить целевые функции и провести оптимизационный анализ и оценку эффективности различных методов оптимизации в рамках математической модели.
- Проверить достоверность результатов оптимизации с использованием экспериментальных данных исследуемой системы.
- Сформировать методику оптимизационного анализа нестационарных процессов гелиевых криогенных систем на базе математической модели с использованием расчетных и экспериментальных данных.

ЗАДАЧА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ

Методы мат. моделирования криогенных систем

- эмпирический метод анализа криогенных систем основанный на экспериментальных данных;
- объектно-ориентированный подход: каждый компонент моделируется набором уравнений (алгебраических и дифференциальных):
 - аналитическое решение систем уравнений;
 - численное решение систем уравнений:
 - оригинальные решения на базе языков программирования (FORTRAN, C);
 - мат. модели на базе вычислительных пакетов (MATLAB, Simulink);
 - средства моделирования хим. систем (Speedup, Flowtran, Aspen, Hysys и др.).

Требования к инструментам разработки:

- скорость разработки математической модели;
- простота пользовательского взаимодействия;
- возможность использования без наличия специальных навыков программирования, знания математического аппарата.

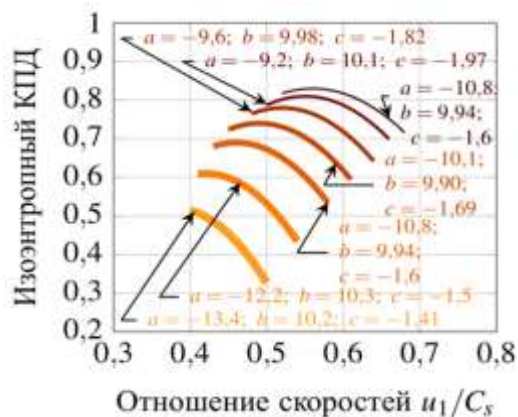
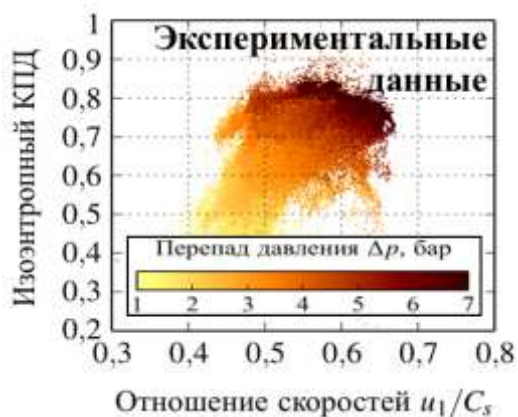
ЗАДАЧА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБОРА НЕОБХОДИМЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ

Теплообменные аппараты:

- номинальные параметры ($\alpha_{\text{ном}}$, $\Delta p_{\text{ном}}$): расчетом из конфигурации теплообменных поверхностей;
- параметры в широком диапазоне режимов получены масштабированием номинальных значений.

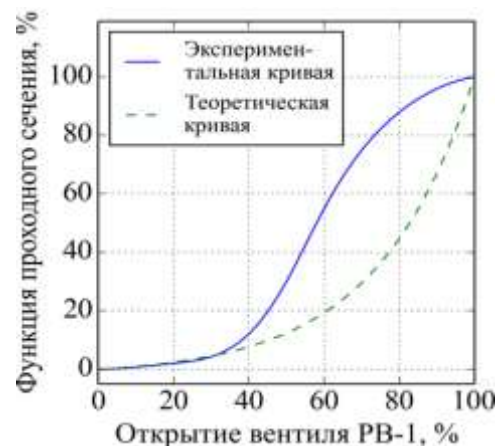
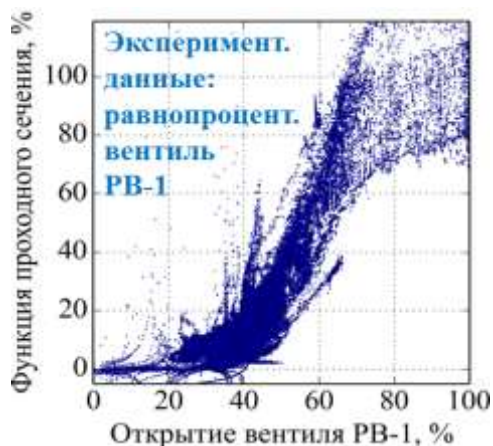
Турбодетандеры:

- номинальные параметры определены для основных рабочих режимов;
- требуется экспериментальное определение параметров во всем диапазоне рабочих режимов.



Регулирующие вентили:

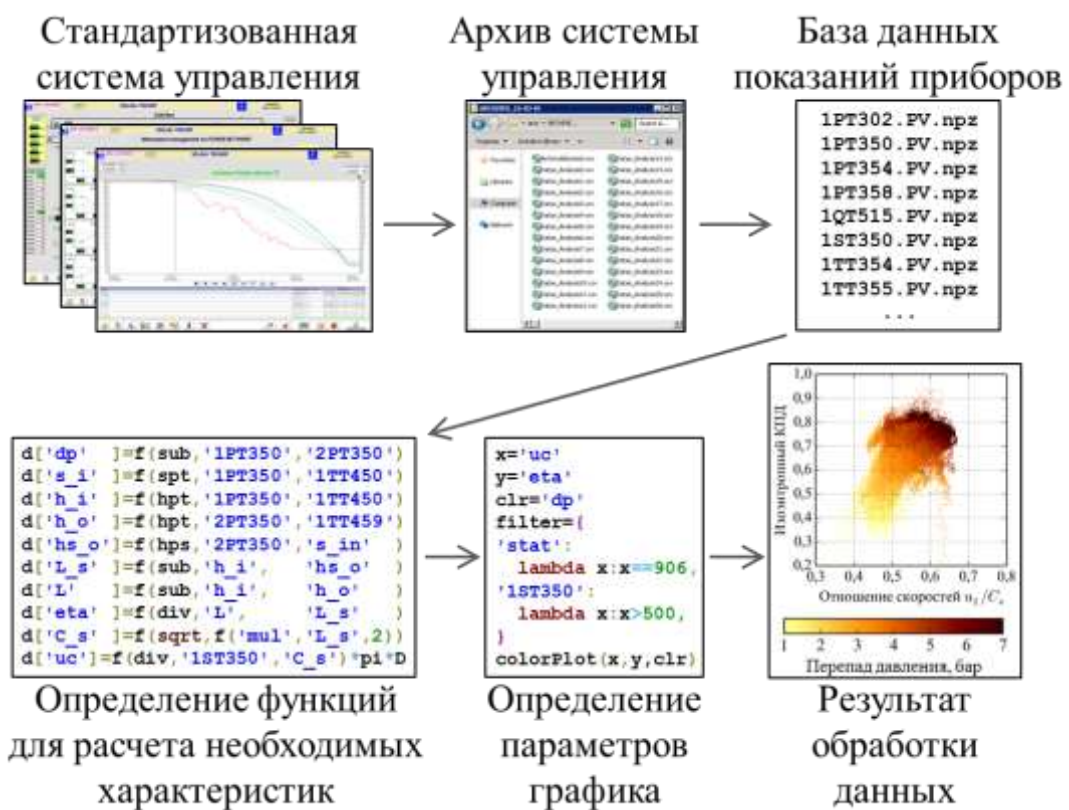
- теоретические характеристики открытия проходного сечения представлены производителем;
- выявлено отклонение данных характеристик от действительных.



ЗАДАЧА 3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Особенности программного комплекса:

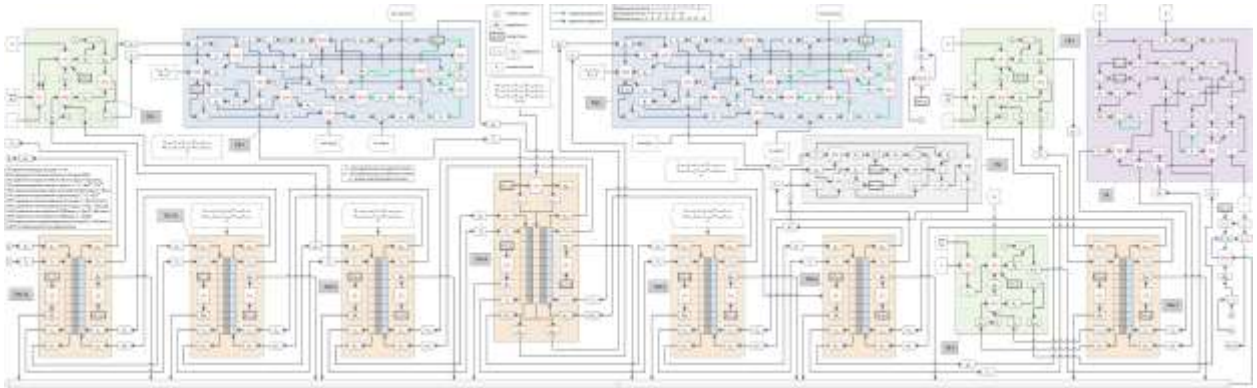
- разработан для сокращения временных затрат на экспериментальное исследование элементов системы;
- расширяет применимость разработанной методики для массового использования;
- совместим со стандартными системами управления.



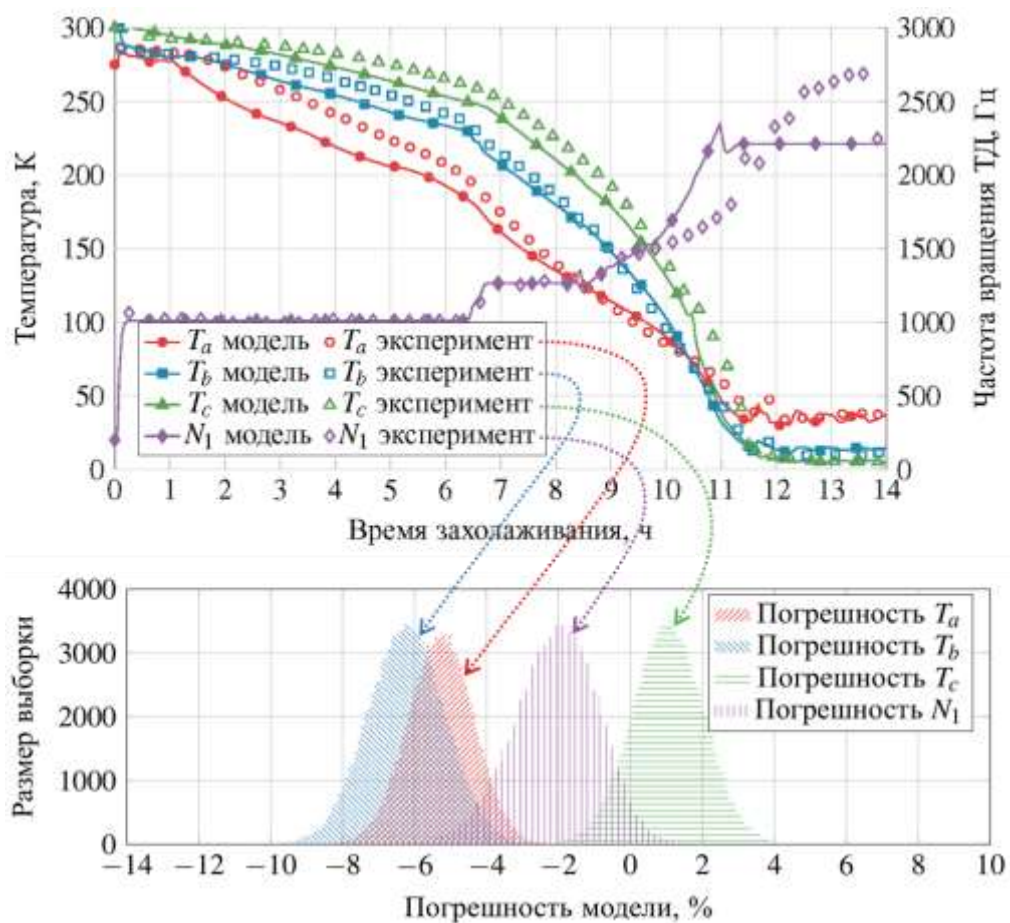
ЗАДАЧА 4. ПРОВЕРКА КОРРЕКТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА БАЗЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА ЗАХОЛАЖИВАНИЯ

Особенности математической модели:

- модель включает 190 уравнение (дифференциальных и алгебраических)



- мат. модель проверена на корректность с использованием экспериментальных данных



ЗАДАЧА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ФУНКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Характеристика оптимизационной задачи:

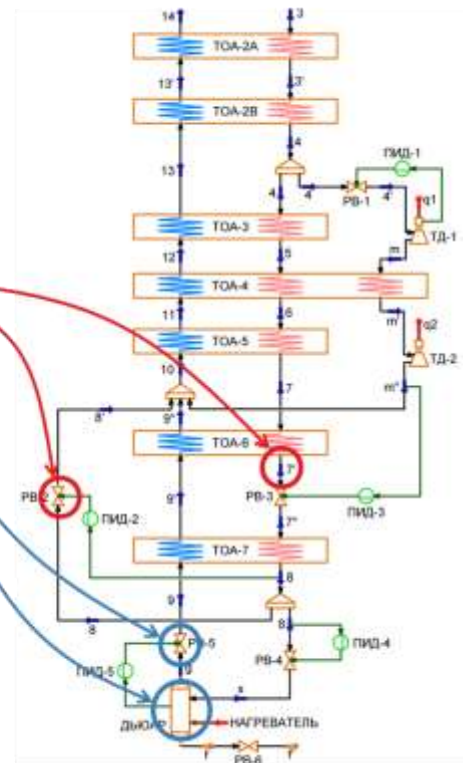
- оптимизационная функция – время захлаживания оживителя до уровня 5% в дьюаре (τ);
- параметры оптимизации:
 - уставка температуры перед РВ-3 для начала регулирования РВ-2 по уставке температуры перед РВ-2 (T); множество параметров:

$$\Theta = \{ T \mid T > 4 \text{ К}, T < 300 \text{ К}, T \in \mathbf{R} \}$$
 - уставка давления в сборнике жидкого гелия для регулирования РВ-5 (p); множество параметров:

$$\Pi = \{ p \mid p > 1,05 \text{ бар}, p < 1,4 \text{ бар}, p \in \mathbf{R} \}$$
- постановка задачи оптимизации:

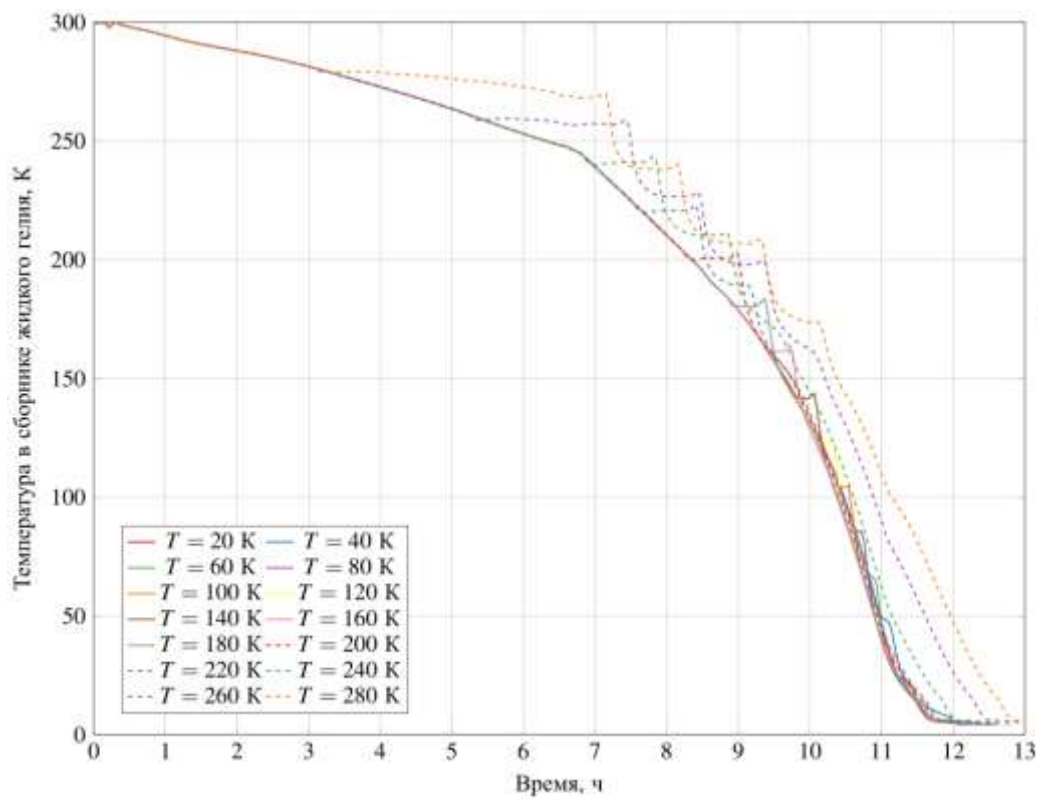
$$\tau(p, T) \rightarrow \min_{p \in \Pi, T \in \Theta}$$

(минимизация времени захлаживания)
- метод поиска оптимальных значений: прямой (вычисление целевой функции без определения частных производных $(\partial\tau / \partial p)_T$ и $(\partial\tau / \partial T)_p$)
- класс оптимизационной задачи – параметрическая (без изменения структурной схемы криогенного цикла).



ЗАДАЧА 6. РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

$$\Theta = \{ T \mid T > 4 \text{ К}, T < 300 \text{ К}, T \in R \}$$



$$\Pi = \{ p \mid p > 1,05 \text{ бар}, p < 1,4 \text{ бар}, p \in R \}$$

