

Институт ИТКН

Кафедра инженерной кибернетики

Направление подготовки: 01.03.04 прикладная математика

Квалификация (степень): бакалавр

Группа: БПМ-22-ПО-1

# ОТЧЕТ

## ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

на тему: **Algorithm of Learned Digital Back Propagation**

**7-й семестр**

2025 ÷ 2026 уч. год.

**Студент**

\_\_\_\_\_/ Голубев Иван Максимович /

подпись

Фамилия И.О.

**Руководитель НИР**

\_\_\_\_\_/ Семёнов Валерий Васильевич /

подпись

должность, уч. степ. Фамилия И.О.

**Оценка:**

\_\_\_\_\_

**Дата защиты:**

\_\_\_\_\_

**Утвердил:**

**Председатель комиссии**

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

подпись

Фамилия И.О.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2. ВВЕДЕНИЕ . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>3. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР . . . . .</b>	<b>5</b>
3.1. Влияние дальнего действия потенциала на критическое поведение	5
3.2. Влияние дальнего действия потенциала на фазовые диаграммы и плавление . . . . .	5
3.3. Цели и задачи магистерской работы . . . . .	5
<b>4. СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>6. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>7. РАЗРАБОТКА ИТ МЕТОДОВ . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .</b>	<b>11</b>

## **1. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

## 2. ВВЕДЕНИЕ

Оптоволоконные системы связи являются фундаментом глобальной информационной инфраструктуры XXI века, обеспечивая передачу подавляющего объема данных в интернете, мобильных сетях и межконтинентальных магистральных. Их ключевое преимущество — исключительная пропускная способность и низкие потери сигнала на больших расстояниях. Однако по мере роста спроса на трафик и увеличения скоростей передачи (сотни Гбит/с и выше на канал) физические ограничения оптического волокна становятся критическим барьером. В лонг-холл (длинных) кабелях, особенно подводных и трансконтинентальных, длительное распространение сигнала приводит к совокупному воздействию линейных (хроматическая дисперсия, затухание) и, что особенно важно, нелинейных эффектов Керра. Эти нелинейные искажения, возникающие из-за взаимодействия света с материалом волокна, не являются аддитивным шумом и их влияние принципиально зависит от самого передаваемого сигнала. Традиционные методы компенсации, такие как цифровая обработка сигналов (ЦОС) с линейным уравнением Шрёдингера, становятся неэффективными, делая нелинейность доминирующим фактором, ограничивающим дальность и емкость современных систем.

Существующие методы нелинейной компенсации, например, цифровая обратная распространение (DBP — Digital Backpropagation), сталкиваются с фундаментальными проблемами при практической реализации. Классический DBP требует точного знания параметров всей трассы, чрезвычайно высокой вычислительной сложности (особенно при учете поляризационной модовой дисперсии и эффектов Керра высших порядков) и становится практически неприменимым в системах с динамическим управлением спектром (flex-grid) или с реконфигурируемыми оптическими сетями (ROADM). Таким образом, возникает острая необходимость в разработке интеллектуальных, адаптивных и вычислительно эффективных алгоритмов, способных подавлять нелинейные помехи в реальном времени в условиях неполной информации о канале.

### 3. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

#### 3.1. Влияние дальнего действия потенциала на критическое поведение

Уравнения Максвелла запишем в следующем виде [?]:

$$\mathcal{H}/k_{\text{B}}T = -K \sum_{\langle ij \rangle} \frac{s_i s_j}{r_{ij}^{d+\sigma}} \quad (3.1)$$

#### 3.2. Влияние дальнего действия потенциала на фазовые диаграммы и плавление

В настоящий момент установлено, что 2D-сценарии плавления зависят от мягкости отталкивания, обеспечивая микроскопические сценарии 2D-плавления, описываемые в работах [?, ?], что доказывает теория Березинского-Костерлица-Таулесса-Гальперина-Нельсона-Янга (БКТГНЯ), согласно которой плавление происходит через два непрерывных перехода с промежуточной гексатической фазой с квазидальним ориентационным порядком и ближним трансляционным порядком [?, ?, ?, ?], плавление через фазовый переход первого рода, двухстадийное плавление, включающее непрерывный (Березинский-Костерлиц-Таулесс, БКТ) кристаллогексатический фазовый переход и фазовый переход первого рода между гексатической фазой и изотропной жидкостью. Второй и третий сценарии присущи системам с короткодействующим (жестким) отталкиванием, тогда как первый наблюдался при мягком отталкивании между частицами. Установлено, что мягкость отталкивания влияет на сценарии плавления, термодинамику и спектры возбуждения в монослойных системах. Однако известно, что роль притяжения в сценарии плавления монослойных систем остается систематически неизученной.

#### 3.3. Цели и задачи магистерской работы

**Цель работы** – установить связь дальнего действия притяжения потенциала взаимодействия и спектров возбуждений с транспортными свойствами жидко-

стей, а также влияние на скорость нуклеации.

**Задачи работы:**

1. Расчет фазовых диаграмм для 2D и 3D систем частиц, взаимодействующих посредством обобщенного потенциала Леннарда-Джонса с различными степенями притяжения.
2. Адаптация метода кластеризации данных DBSCAN для изучения молекулярных систем и его сравнение с другими методами.
3. Расчет и анализ транспортных свойств и коллективных возбуждений на жидкостных бинодалях.
4. Применение нового метода распознавания фаз для изучения скорости нуклеации в переохлажденных системах Леннарда-Джонса с различным дальнодействием притяжения.

## **4. СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

## **5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**



## **6. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА**

## **7. РАЗРАБОТКА ИТ МЕТОДОВ**

## **8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты НИРа:

**НЕТ ТАКОВЫХ**