



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ (ИУ6)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА 09.04.01/07 Интеллектуальные системы анализа,  
обработки и интерпретации больших данных

## О Т Ч Е Т

### по лабораторной работе № 4

**Название:** Реконструкция модели цифрового двойника человека-оператора  
в киберфизической системе

**Дисциплина:** Дистанционный мониторинг сложных систем и процессов

Студент

ИУ6-12М

(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Д.С. Каткова

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Ю.А. Вишневская

(И.О. Фамилия)

Москва, 2023

## Введение

**Цель работы** – изучение особенностей построения алгоритма реконструкции математической модели человека-оператора по временному ряду.

**Задание:** Разработать цифровую модель эксперта, решающего задачу прогнозирования процесса (ситуации) по временному ряду. В этом случае вместо временного ряда биосигнала необходимо взять любой реальный временной ряд и создать систему прогнозирования исходного временного ряда на будущий период времени.

## Ход выполнения

В качестве рассматриваемого временного ряда было взято производство конфет по месяцам. Фрагмент датасета представлен на рисунке 1.

	observation_date	IPG3113N
1	1972-01-01	85.6945
2	1972-02-01	71.8200
3	1972-03-01	66.0229
4	1972-04-01	64.5645
5	1972-05-01	65.0100
6	1972-06-01	67.6467
7	1972-07-01	69.0429
8	1972-08-01	70.8370
9	1972-09-01	75.0462
10	1972-10-01	106.9289
11	1972-11-01	105.5962
12	1972-12-01	105.9673
13	1973-01-01	91.2997
14	1973-02-01	77.2700
15	1973-03-01	69.6110
16	1973-04-01	70.2986

Рисунок 1 – Фрагмент датасета

Рассчитаем скользящее среднее и среднеквадратическое отклонение и визуализируем этот датасет. Фрагмент кода представлен на рисунке 2. Результаты визуализации показаны на рисунке 3.

```
# Чтение данных из файла
df = pd.read_csv('candy_production.csv', index_col = 'observation_date', parse_dates=True)

# Вычисление скользящего среднего и отклонения
mean = df['IPG3113N'].rolling(window=globalValueSetting).mean().fillna(0)
std = df['IPG3113N'].rolling(window=globalValueSetting).std().fillna(0)

# Построение графиков
plt.plot(df.index, df['IPG3113N'], label='Production')
plt.plot(df.index, mean, label='MEAN')
plt.plot(df.index, std, label='STD')
plt.legend()
plt.show()
```

Рисунок 2 – Фрагмент кода расчета и визуализации производства продукции, скользящего среднего и среднеквадратического отклонения

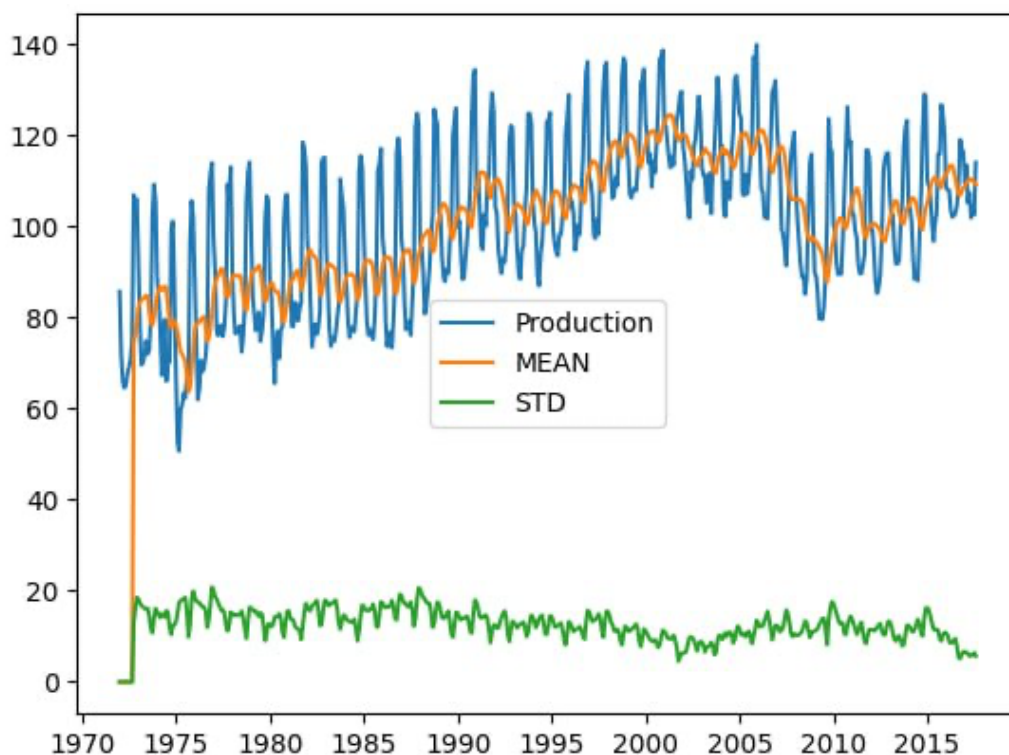


Рисунок 3 – График производства, скользящего среднего и среднеквадратического отклонения

Чтобы спрогнозировать значения будущих временных шагов последовательности, была обучена сеть LSTM. Количество итераций было взято равным 100. Фрагмент кода обучения нейросети представлен на рисунке 4.

```

# обучение 1000 итераций
for epoch in range(num_epochs):
    outputs = lstm_impl.forward(X_train_tensors_final)
    optimizer.zero_grad()
    # функция ошибки
    loss = criterion(outputs, y_train_tensors)
    loss.backward()
    # обучение
    optimizer.step()

```

Рисунок 4 – Фрагмент кода обучения нейросети

Фрагмент кода программы для прогнозирования представлен на рисунке 5.

```

# предсказание
train_predict = lstm_impl(df_X_ss)
data_predict = train_predict.data.numpy()
dataY_plot = df_y_mm.data.numpy()

```

Рисунок 5 – Фрагмент кода прогнозирования количества произведенной продукции

Фрагмент кода расчета и визуализации прогнозирования представлен на рисунке 6.

```

# визуализация данных
plt.plot(df.iloc[:400, 1], label='Actual Data')
plt.plot(df.iloc[400:, 2], label='Predicted Data')
plt.legend()
plt.show()

```

Рисунок 6 – Фрагмент кода прогнозирования количества произведенной продукции

График результата прогнозирования представлен на рисунке 7.

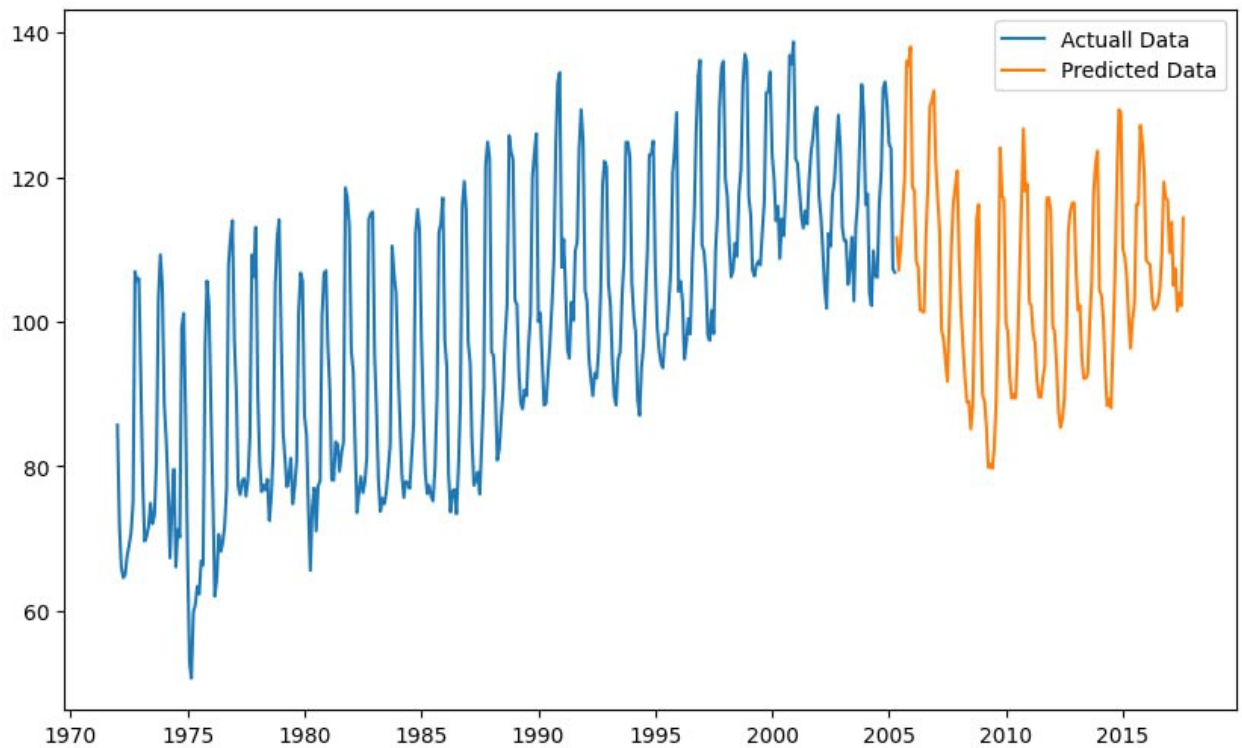


Рисунок 7 – Результат прогнозирования

Графики, определяющие качество модели представлены на рисунках 8-10.

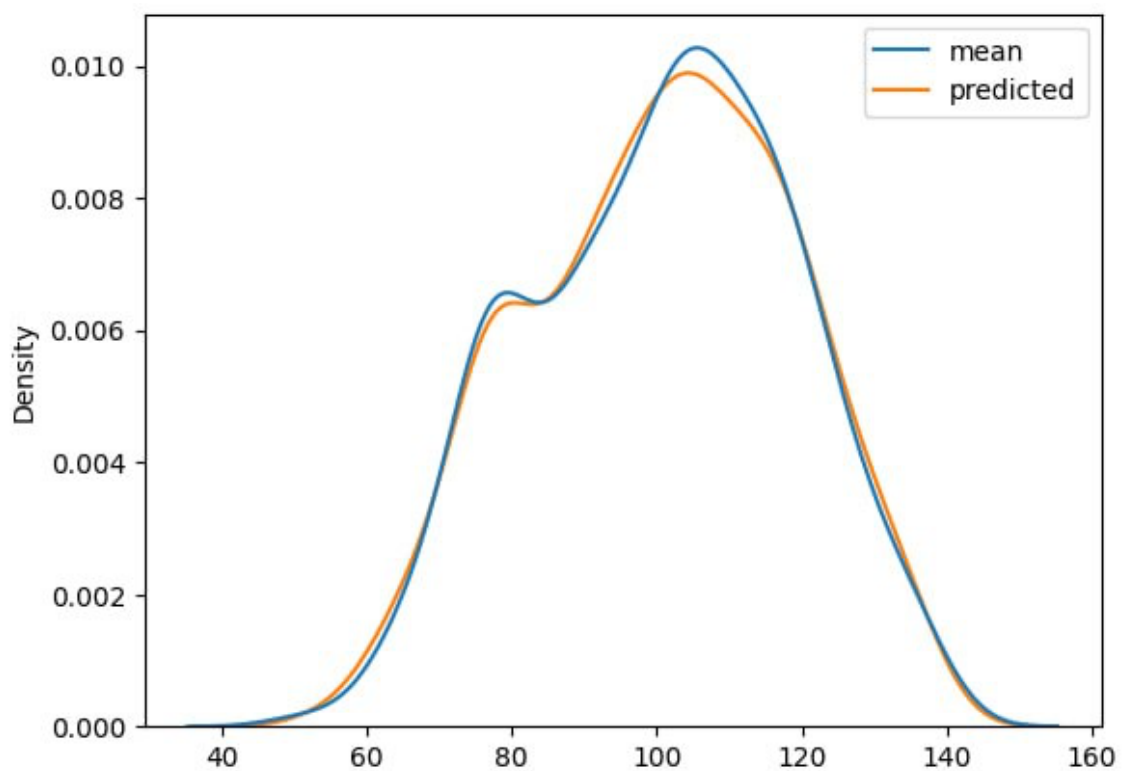


Рисунок 8 – Распределение значений

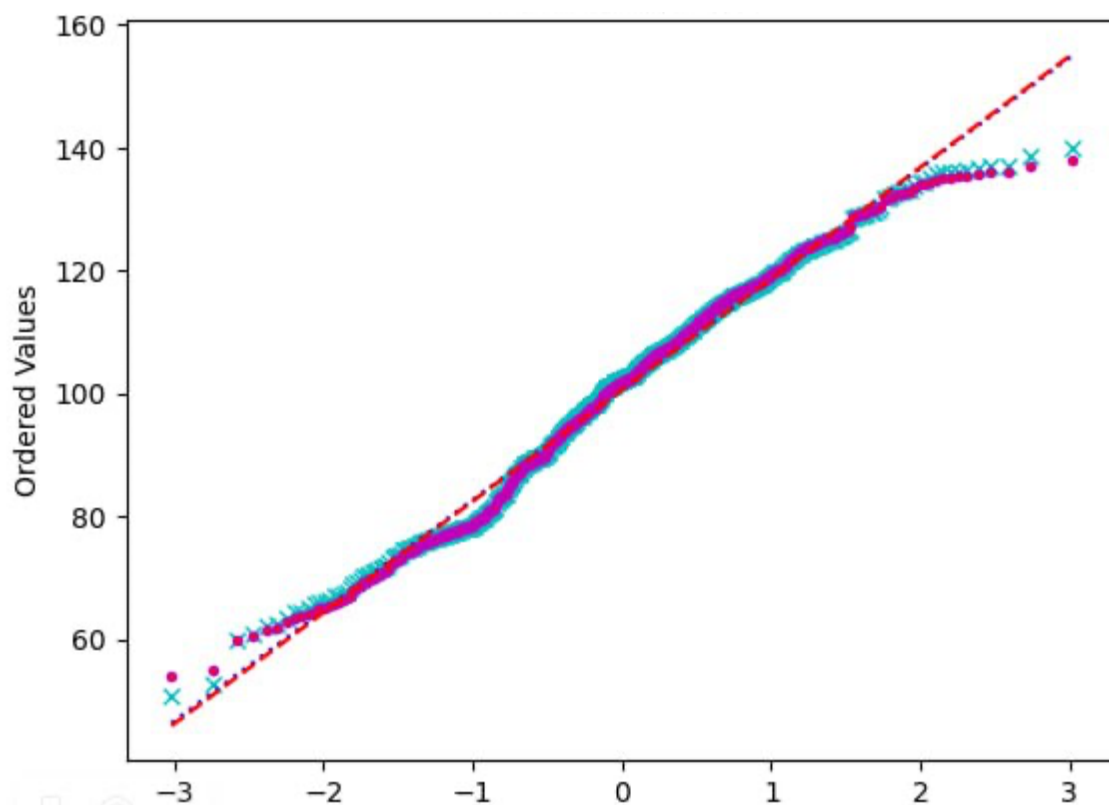


Рисунок 9 – График квантиль-квантиль

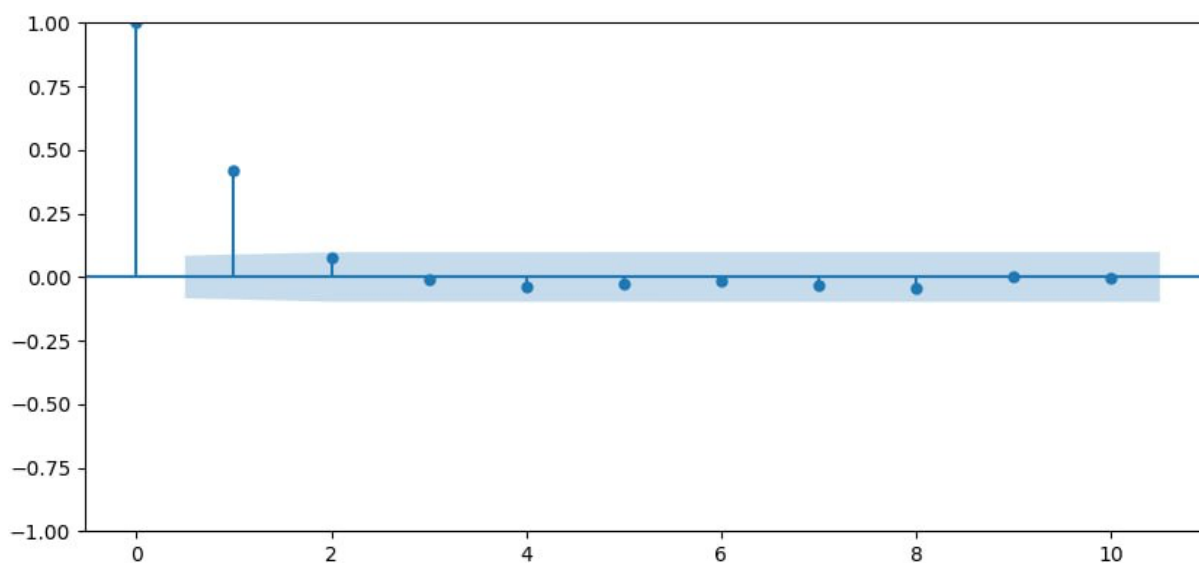


Рисунок 10 – Коррелограмма

Как видно из графиков, KDE линия близка к линии нормального распределения, набор данных близок к нормальному распределению – точки на графике квантиль-квантиль лежат близко к диагонали. Большинство точек на коррелограмме попадают в 90% доверительный интервал.

**Выводы:** в результате выполнения лабораторной работы были изучены особенности построения алгоритма реконструкции математической модели человека-оператора по временному ряду.

### **Контрольные вопросы**

**1. Приведите примеры временных рядов при создании цифровых двойников.**

- биосигналы: частота пульса и дыхания, концентрация различных гормонов и веществ;
- социально-экономические процессы: изменения объемов ВВП, котировок валют и ценных бумаг, изменения рождаемости и смертности, безработицы, изменение потока клиентов;
- природные: изменение атмосферного давления, проход потоков метеоров, изменения температуры;

**2. Что понимают под цифровым двойником эксперта?**

Цифровой двойник — это цифровая (виртуальная) модель эксперта, принимающая такие же решения, как эксперт в заданной области.

**3. В чем состоит задача прогнозирования временных рядов?**

Задача прогнозирования временных рядов сводится к выведению зависимости будущих состояний системы/процесса/сигнала от прошлых.

**4. Что понимается под реконструкцией математической модели системы? Какова цель реконструкции ММС?**

Процесс реконструкции — это получение математической модели системы (ММС) по экспериментальному временному ряду (ВР)  $a_i(i\Delta t)=a_i$ ,  $i=1, \dots, N$ . Ее целью является получение ММС в виде уравнений, решение которых с заданной степенью точности воспроизводит исходный ВР  $a(t)$ .

**5. Что такое «переменная состояния» системы? Приведите примеры.**

Одна из множества переменных, которые используются для описания математического "состояния" динамической системы. Интуитивно состояние

системы описывает достаточно о системе, чтобы определить ее будущее поведение в отсутствие каких-либо внешних сил, воздействующих на систему.

**6. Перечислите основные этапы реконструкции математической модели системы.**

- постановка задачи;
- определение задачи;
- составление математической модели задачи;
- оценка математической модели / эксперимент;
- выдача результатов.

**7. Как оценить адекватность разработанной модели?**

- сравнить результаты расчетов по модели с реальным поведением системы в различных ситуациях;
- использовать графики ядерной оценки плотности, график квантиль-квантиль и коррелограмму.