



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 «Специальное машиностроение»

КАФЕДРА «Колесные машины»

Отчёт о выполнении лабораторной работы №2

по курсу

«Управление техническими системами»

на тему

«Изучение динамических характеристик датчика температуры  
охлаждающей жидкости автомобиля»

Студент СМ10-71

\_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

В.Б. Сухоносенко

\_\_\_\_\_

*(Ф.И.О.)*

Преподаватель

\_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

А.А. Смирнов

\_\_\_\_\_

*(Ф.И.О.)*

2025 г.

# Содержание

1	Исходные данные . . . . .	1
2	Основная часть . . . . .	2
2.1	Подключение датчика и эксперимент . . . . .	2
2.2	Обработка результатов эксперимента . . . . .	3
2.3	Модель датчика в Simulink . . . . .	5
2.4	Система управления охлаждением двигателя . . . . .	7
3	Вывод . . . . .	11
A	Программы MATLAB . . . . .	12
A.1	Скрипт для обработки эксперимента и модели датчика . . . . .	12
A.2	Скрипт для модели системы охлаждения . . . . .	13

## 1 Исходные данные

Задачей лабораторной работы №2 являлось изучение устройства и принципа работы датчика температуры охлаждающей жидкости (рис. 1.1), подключение датчика к измерительному комплексу и проведение эксперимента по получению динамической характеристики датчика при нагревании от 20°C до 100°C с последующей обработкой результатов эксперимента в MATLAB для получения параметров передаточной функции датчика.

Помимо этого, полученную модель датчика необходимо было использовать в управляющем устройстве вентилятора системы охлаждения двигателя автомобиля.



Рисунок 1.1 — Датчик температуры 27.3828 в разрезе

Нелинейностью характеристики датчика было указано пренебречь.

## 2 Основная часть

### 2.1 Подключение датчика и эксперимент

С помощью подключения датчика к источнику питания по схеме рис. 2.1 обеспечивается постоянное значение протекающего через датчик тока, равного  $0.5 \dots 1.0$  мА.

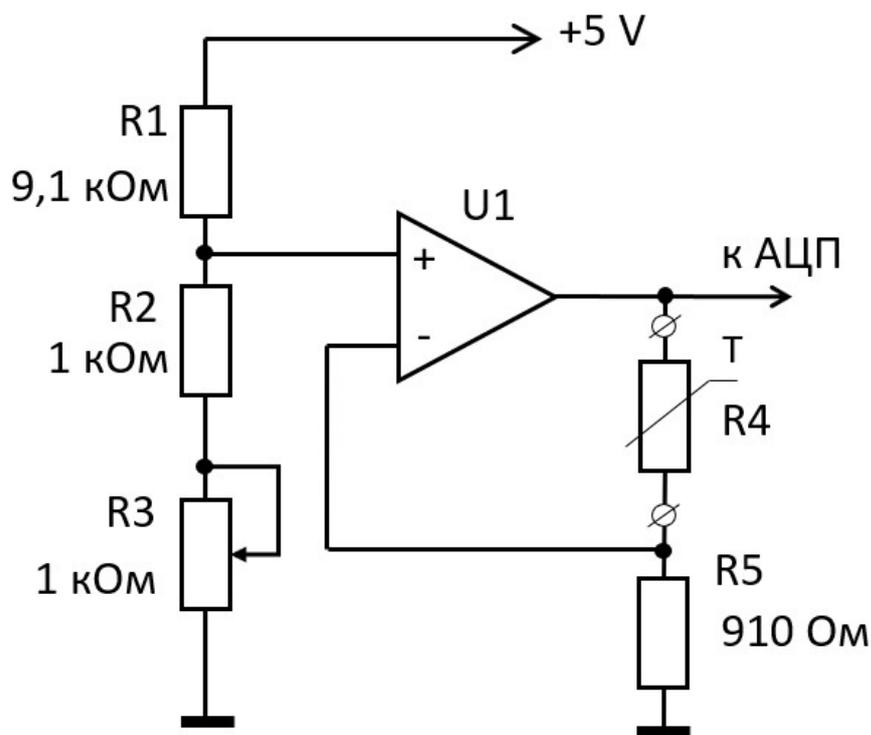


Рисунок 2.1 — Схема подключения датчика к АЦП

Значение напряжения на терморезисторе снимается через АЦП L-Card E14-140M, который подключается к ноутбуку по интерфейсу USB 2.0. Настройка АЦП и отображение результатов измерений отображаются с помощью ПО LGraph2.

Эксперимент производился следующим образом:

1. Включен чайник с водой.
2. При достижении кипения чайник не выключался (поддержание постоянной температуры 100 градусов Цельсия). Включена запись данных с датчика, находящегося при комнатной температуре.
3. Датчик резко опущен в кипящую воду без касания нагревательного элемента.

4. Выдержано время переходного процесса - снятие показаний прекращено в тот момент, когда показания с датчика устанавливаются на новом напряжении, соответствующем температуре кипящей воды.

5. Датчик достаётся из воды, оборудование выключается.

## 2.2 Обработка результатов эксперимента

Из программы LGraph2 данные экспортированы в формате txt. В среду MATLAB значения времени и напряжения загружены в виде массива 1x2. На рис. 2.2 показаны считанные значения.

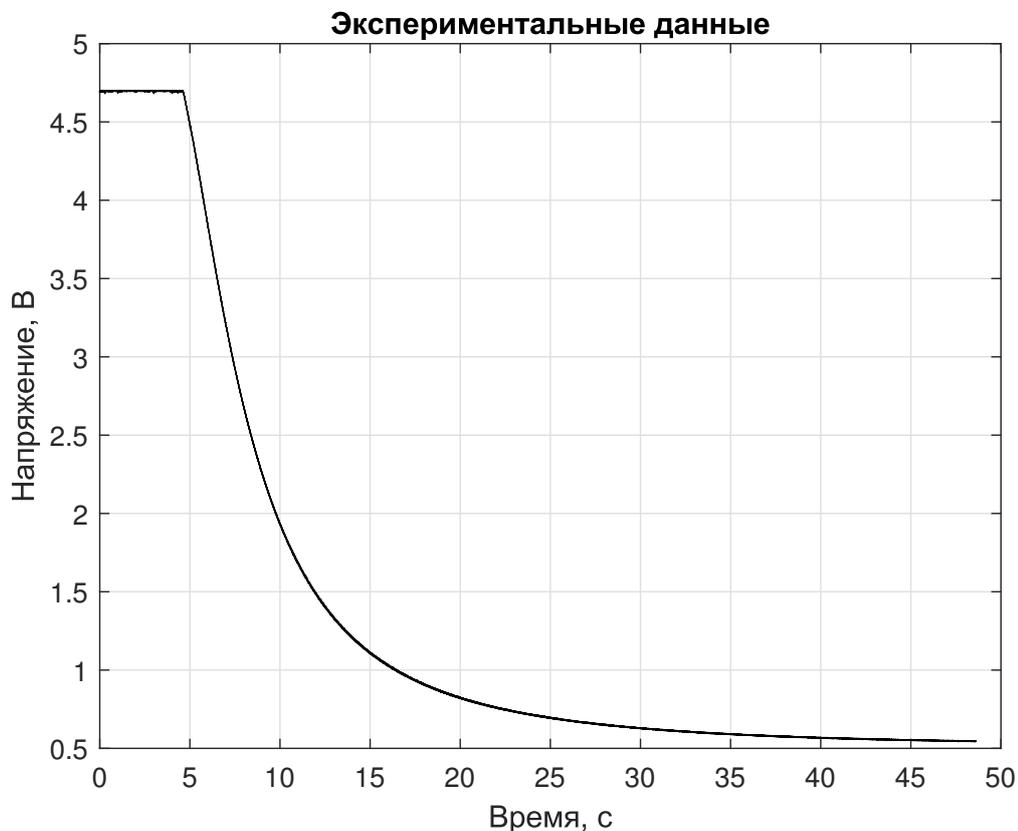


Рисунок 2.2 — Значения напряжения, полученные при эксперименте

Определён момент погружения датчика в кипящую воду. Резкое изменение температуры с комнатной до 100 градусов цельсия можно считать ступенчатым воздействием на датчик. На рис. 2.3 представлена реакция датчика на это воздействие (график на рис. 2.2 обработан таким образом, чтобы  $t = 0$  соответствовал моменту погружения датчика в воду)

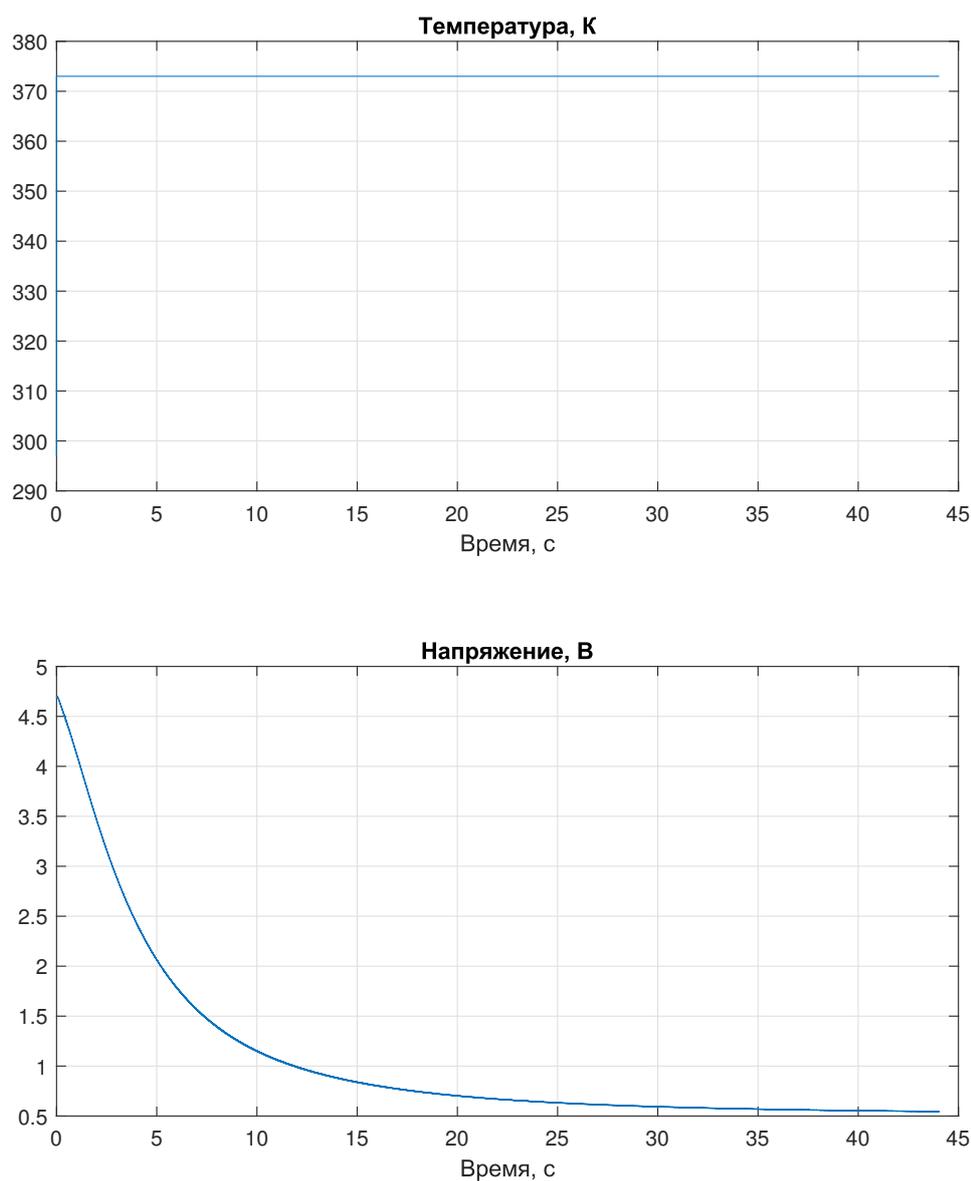


Рисунок 2.3 — Динамическая характеристика (эксперимент)

## 2.3 Модель датчика в Simulink

Напряжение на датчике при заданной температуре, в силу предположения о линейности его характеристики, определяем по формуле

$$U(T) = U_{begin} - k_s(T - T_{begin}) \quad (2.1)$$

где  $U_{begin}$  - напряжение на датчике при  $T = T_{begin}$

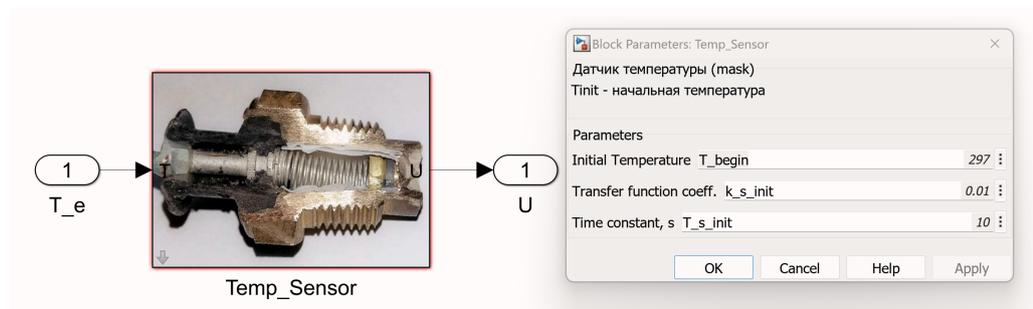
Для описания переходного процесса изменения температуры было принято, что его физика процесса описывается передаточной функцией апериодического звена

$$W(s) = \frac{1}{T_s s + 1} \quad (2.2)$$

где  $T_s$  - постоянная времени. Это соответствует дифференциальному уравнению

$$T_s = \frac{dT_{out}}{dt} + T_{out} = T_{in} \quad (2.3)$$

Где  $T_{out}$  - температура среды, в которой находится датчик,  $T_{in}$  - собственная температура датчика.



Модель датчика

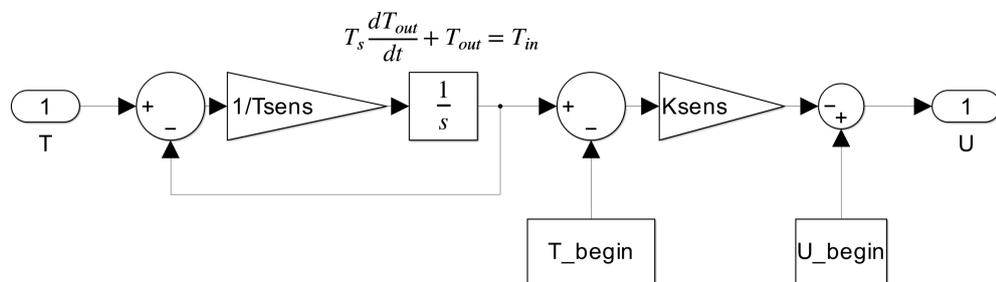


Рисунок 2.4 – Модель датчика в Simulink

В Simulink составлена схема, соответствующая дифференциальному уравнению 2.3 - см. рис. 2.4.

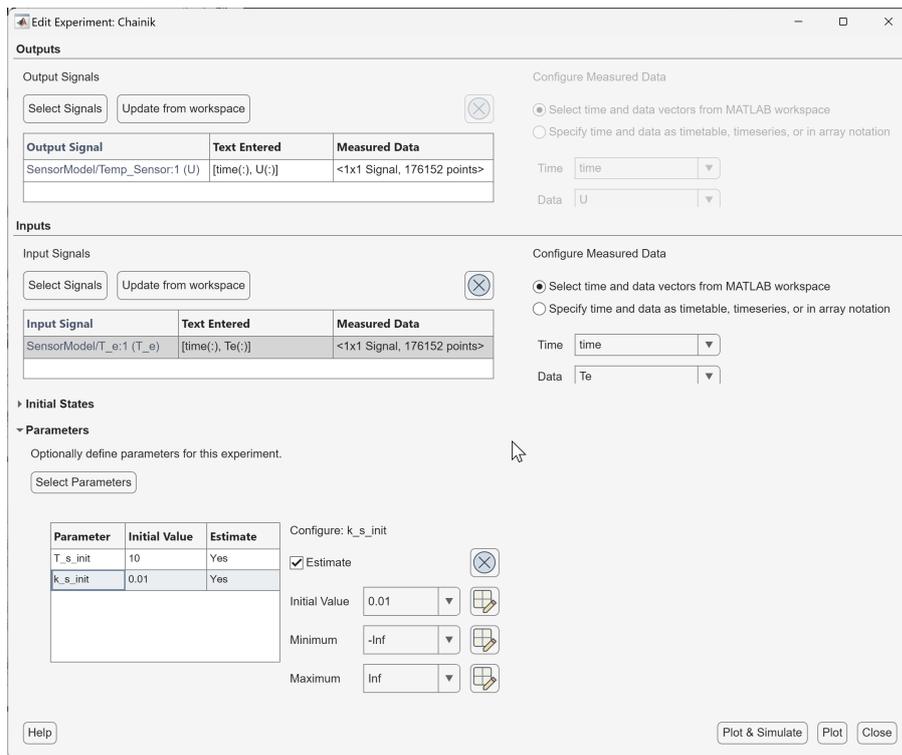


Рисунок 2.5 — Задание параметров для оптимизации

Через приложение Parameter Estimator получены значения  $k_s, T_s$ , дающее наиболее близкое совпадение реакции модели Simulink на ступенчатое воздействие с реальными экспериментальными данными (близость по норме, определяемой по методу наименьших квадратов).

На рис. 2.5 показано, как в приложении заданы экспериментальные данные и порт выхода в модели для сравнения значений, искомые параметры и область значений, в которой ищутся  $k_s, T_s$ . По рис. 2.6 видно, что решателю

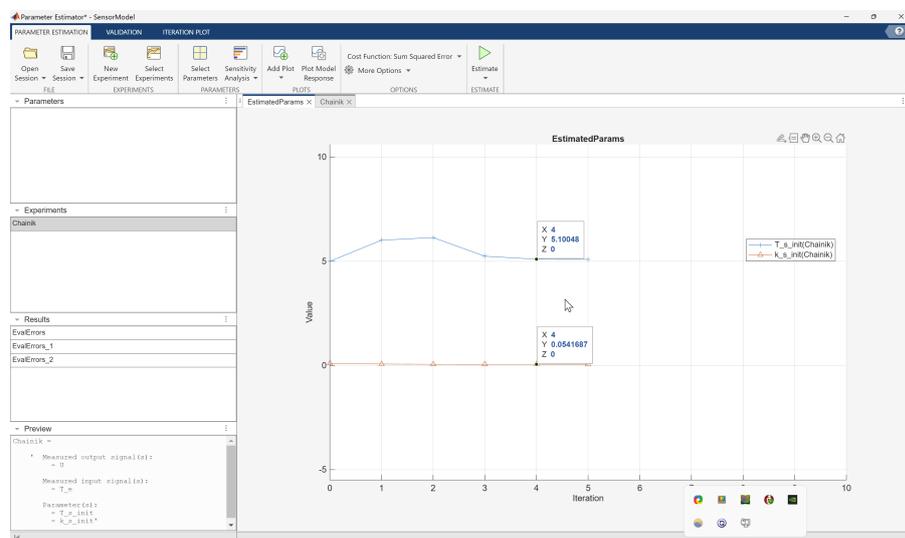


Рисунок 2.6 — 5 итераций при поиске  $k_s, T_s$

хватило 5 итераций для получения сходящегося ответа  $k_s = 0.054 \text{ В/К}$ ,  $T_s = 5.1 \text{ с}$

На рис. 2.7 показано сравнение экспериментальных данных с моделью при заданных параметрах. Как видно, значения достаточно близки.

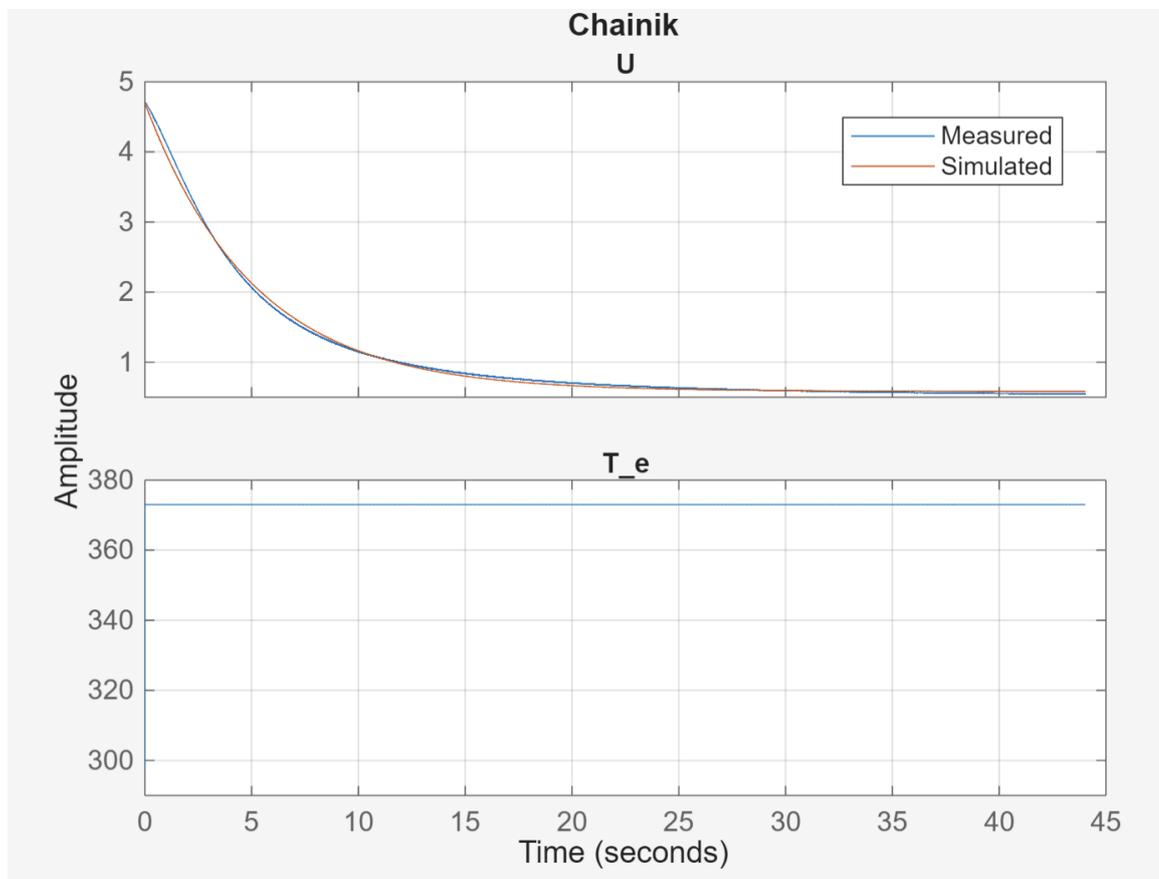


Рисунок 2.7 — Сравнение эксперимента с моделью

## 2.4 Система управления охлаждением двигателя

На рис. 2.8 представлена схема системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, по которой моделируется её поведение.

Уравнения, соответствующие данной системе:

$$\begin{cases} C_d \frac{dT_d}{dt} = Q_d - c_z \rho_z G_z (T - d - T_r) - \alpha_d S_d (T_d - T_e) \\ C_r \frac{dT_r}{dt} = c_z \rho_z G_z (T - d - T_r) - \alpha_r S_r (T_r - T_e) \end{cases} \quad (2.4)$$

Где  $C_d, C_r$  - теплоёмкости двигателя и радиатора,  $T_d, T_r, T_e$  - текущая температура двигателя, радиатора, окружающей среды соответственно;  $Q_d$  - теплота от сгорания топлива;  $c_z, \rho_z, G_z$  - удельная теплоемкость, плотность,

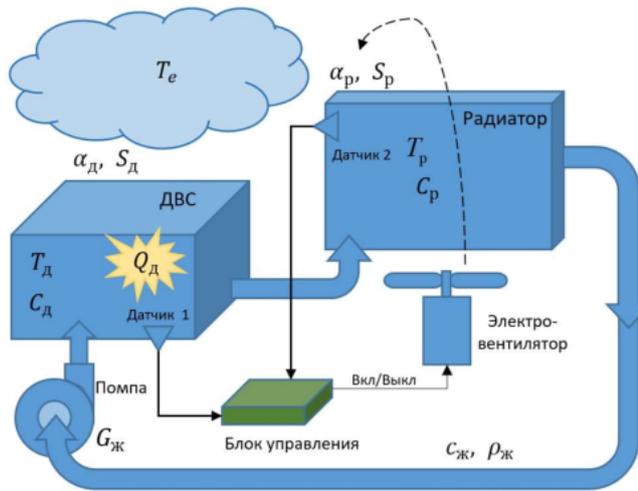


Рисунок 2.8 — Схема системы охлаждения ДВС

объёмный расход охлаждающей жидкости;  $\alpha_d, (\alpha_r)$  - коэффициент теплообмена двигателя (радиатора соответственно) с окружающей средой;  $S_d, S_r$  - эффективные площади двигателя и радиатора, участвующие в конвекции.

Использована схема 2.9 для решения заданной системы дифференциальных уравнений. В параметры датчиков заданы постоянные времени  $T_s$ , определённые ранее.

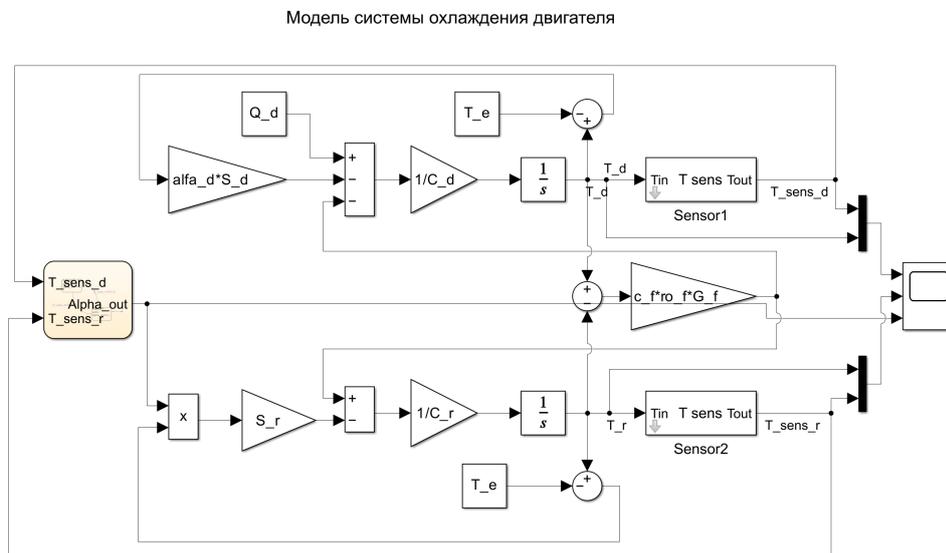


Рисунок 2.9 — Модель системы охлаждения двигателя с управлением вентилятором

Управление вентилятором осуществляется по принципу "включен-выключен" что изменяет значение  $\alpha_r$  с 20 при выключенном вентиляторе до

400 при включенном. В Simulink это реализовано с помощью Stateflow-диаграммы (см. рис. 2.10)

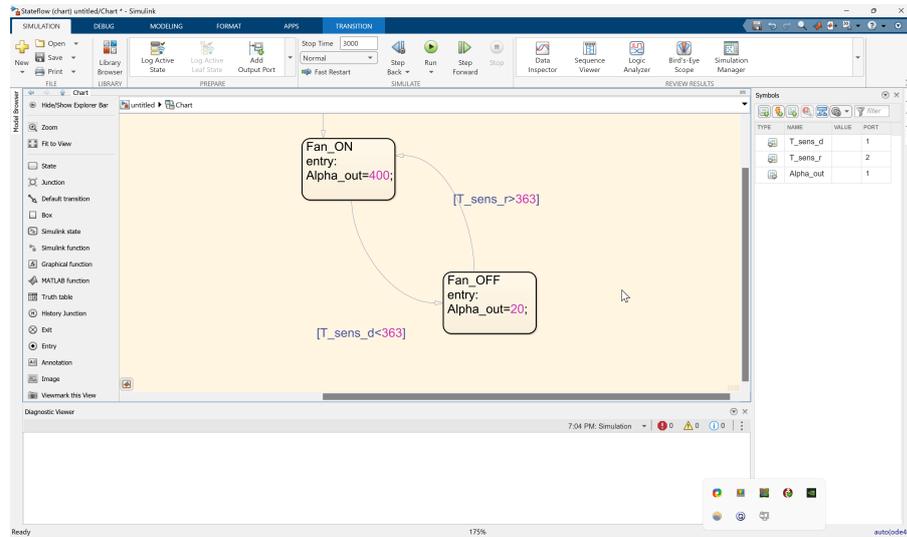


Рисунок 2.10 — Логика управления вентилятором

Данный алгоритм управления приводит к установившимся колебаниям температуры охлаждающейся жидкости рис. 2.11. Так же по графикам (верхний - двигатель, средний - радиатор, нижний - коэффициент  $\alpha_r$ ) видно отклонение температуры, показываемой датчиками (фиолетовый цвет), от реальной температуры (синий цвет).

Хотя температура двигателя поддерживается в пределах  $\approx 91 \pm 1 - 2$  градуса, вентилятор включается-выключается достаточно часто - примерно каждые 50 секунд.

Изменим алгоритм управления, добавив "нечувствительность" вентилятора: будем включать его при температуре

$$T_{sens_r} > 363 + 1 \quad K = 91 \text{ deg } C$$

и отключать при

$$T_{sens_d} < 363 - 2 \quad K = 88 \text{ deg } C$$

Получим большой разброс температуры двигателя  $90 \pm 3 \text{ deg } C$ , но более редкое переключение вентилятора ( $\approx 140 \text{ с}$ ) - см. рис. 2.12

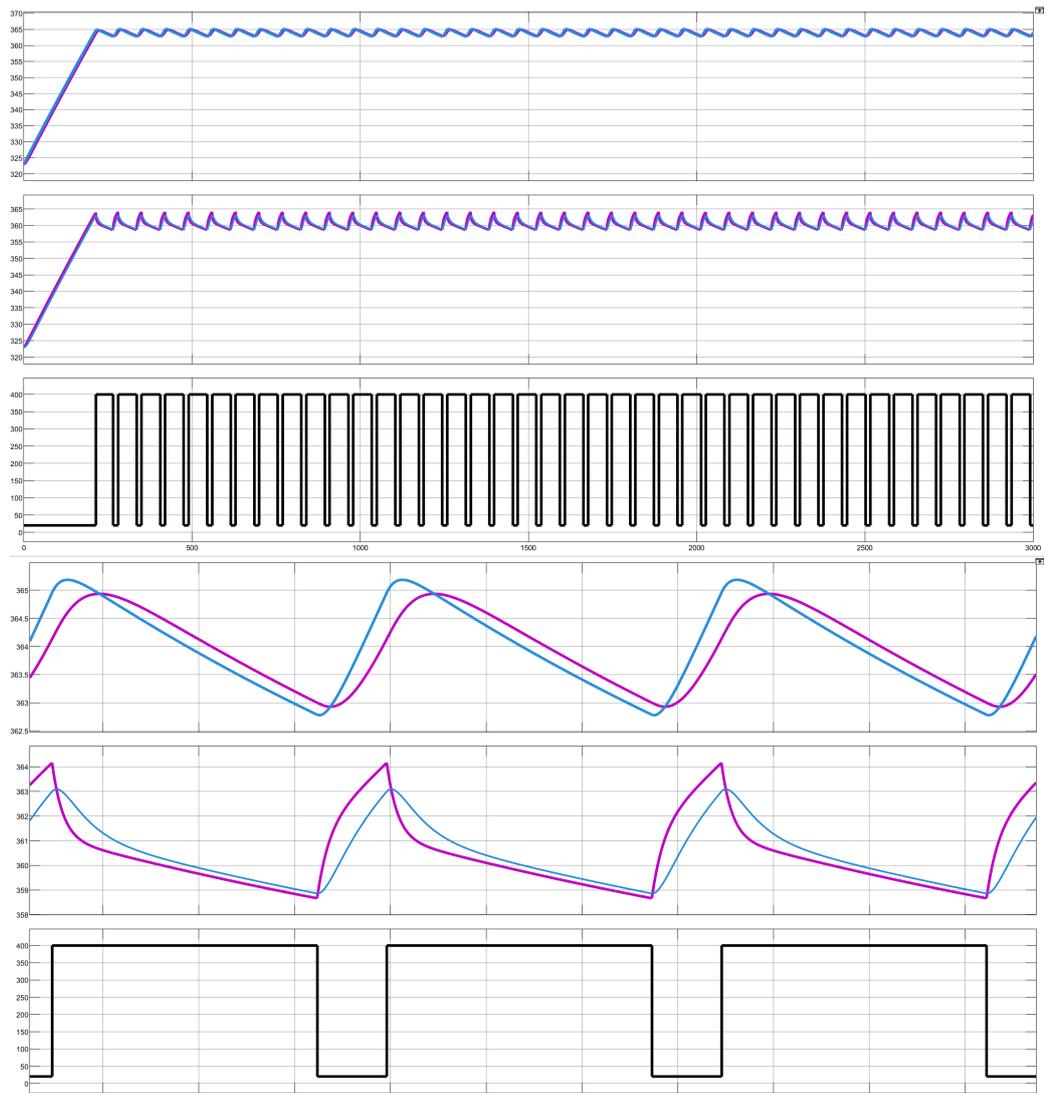


Рисунок 2.11 — Колебания температуры - частое переключение вентилятора

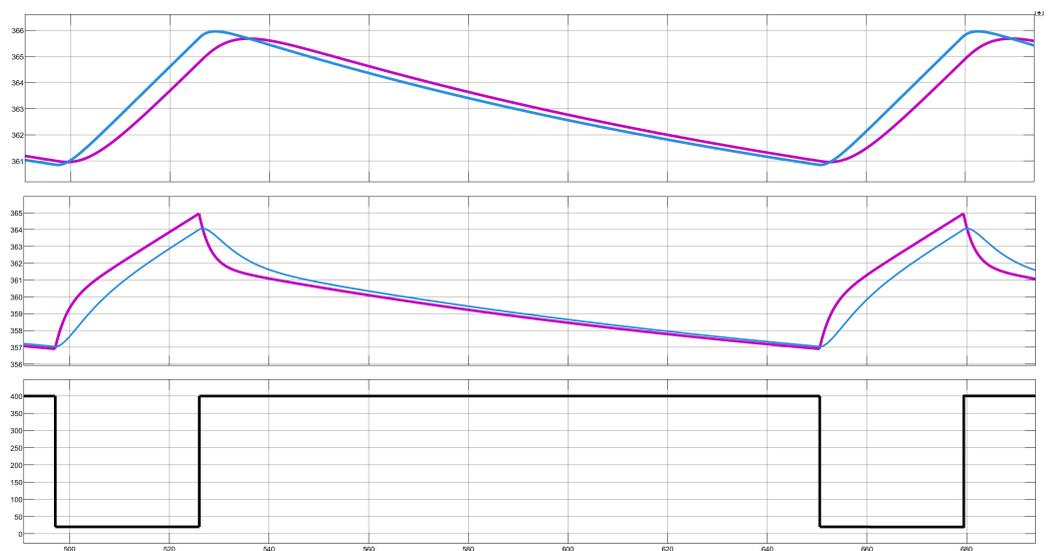


Рисунок 2.12 — Изменённый алгоритм - переключение режне примерно в 3 раза

### 3 Вывод

В ходе лабораторной работы было изучено устройство и принцип работы датчика температуры охлаждающей жидкости, получен практический опыт работы с измерительным комплексом на базе АЦП L-Card E14-140M. Проведён эксперимент по получению динамической характеристики датчика при его нагревании от 20 до 100 градусов Цельсия.

Результаты эксперимента обработаны в MATLAB. В Simulink построена математическая модель датчика, параметры которой подобраны по методу наименьших квадратов для максимального совпадения с экспериментом.

Модель датчика использована для моделирования системы управления охлаждением двигателя, где также была составлена система управления включением-выключением вентилятора с помощью диаграммы Stateflow. Подобраны оптимальные пороговые значения для переключения режимов вентилятора для поддержания заданной температуры двигателя.

## Приложение А Программы MATLAB

(ArsDat1.txt - файл с результатами эксперимента, импортирован в MATLAB)

### А.1 Скрипт для обработки эксперимента и модели датчика

```
time=ArsDat1(:,1);
dt=time(2)-time(1);
U = ArsDat1(:,2);
plot (time,U);

index_begin=18281; % начало процесса t=4.57

t_begin=time(index_begin);
index_end = 194432
U = U(index_begin:index_end);
time = time(index_begin:index_end)-t_begin;

T_begin = 297;
T_end = 373;
Te(1:length(time),1) = T_end;
Te(1, 1) = T_begin;
U_begin = U(1);
U_end = U(length(U));

subplot(2,1,1);
plot (time, Te);
title('Температура, K');
xlabel('Время, с');
grid on;
subplot(2,1,2);
plot (time, U);
title('Напряжение, В');
```

```
xlabel('Время, с');  
grid on;
```

```
k_s_init = 0.01;  
T_s_init = 10;
```

## А.2 Скрипт для модели системы охлаждения

```
c_md = 500; %удельная теплоемкость чугуна, Дж/(кг*К)  
c_mr = 420; %удельная теплоемкость алюмин. сплава, Дж/(кг*К)  
c_f = 4217; %удельная теплоемкость воды, Дж/(кг*К)  
m_md = 180; %масса пустого двигателя, кг  
m_fd = 8; %масса охлаждающ. жидкости в двигателе, кг  
m_mr = 8; %масса пустого радиатора, кг  
m_fr = 5; %масса охлаждающ. жидкости в радиаторе, кг  
ro_f = 1000; %плотность воды, кг/м3  
T_e = 273 + 50; %температура окружающего воздуха, К  
alfa_d = 10; %коэффициент теплообмена дв. со средой, Вт/(м2*К)  
alfa_r_off = 20; %коэффициент теплообмена радиатора со средой  
%при выключенном вентиляторе, Вт/(м2*К)  
alfa_r_on = 400; %коэффициент теплообмена радиатора со средой  
%при включенном вентиляторе, Вт/(м2*К)  
S_d = 0.8; %площадь двигателя, м2  
S_r = 2.5; %площадь радиатора, м2  
Q_d = 30e3; % тепловая мощность двигателя, Вт  
G_f = 2e-3; %расход охлаждающей жидкости, м3/с  
  
C_fd = c_f * m_fd; %теплоемкость жидкости в двигателе  
C_md = c_md * m_md; %теплоемкость пустого двигателя  
C_d = C_fd + C_md; %теплоемкость "заправленного" двигателя  
C_fr = c_f * m_fr; %теплоемкость жидкости в радиаторе  
C_mr = c_mr * m_mr; %теплоемкость пустого радиатора  
C_r = C_fr + C_mr; %теплоемкость "заправленного" радиатора  
T=15; %постоянная времени датчика
```