

Галузь науки «*Автомобільна електроніка*»

НАУКОВА РОБОТА

на тему: «Розробка панелі для досліджень характеристики сенсора температури»

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	4
1.1 Сенсори температури, що застосовуються в автомобілях.....	4
1.1.1 Сенсори із зміною опору	4
1.1.2 Металокерамічні резистори з НТК	5
2 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ НАВЧАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНОГО СТЕНДУ	7
2.1 Розробка панелі для досліджень характеристики сенсора температури охолоджуючої рідини двигуна.....	7
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	12
3.1 Дослідження характеристик сенсорів температури	12
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	14
4.1 Результати досліджень сенсора температури охолоджуючої рідини..	14
ВИСНОВКИ.....	18
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	19

ВСТУП

На сьогодні автомобілі досить складний транспортний засіб, що обладнаний великою кількістю електронних блоків керування, електричних сенсорів та виконавчих механізмів. Наявність великої кількості електронного обладнання дає змогу покращити паливну економічність, керованість, комфорт та безпеку під час їзди[1]. Проте, з другої сторони, ускладнення автомобільних систем, як і інших систем, призводить до більшої імовірності виникнення поломок. Тому, на даний час, будь-який інженер, діяльність якого пов'язана із транспортом повинен досить добре орієнтуватись в електронних системах та принципах роботи сенсорів і виконавчих механізмів.

Для практичного засвоєння матеріалу стосовно сенсорів температури, що застосовуються в системах автомобілів і пропонується розробка даного стенду. Стенд дає можливість проводити дослідження температурних та електричних характеристик сенсорів температури.

Мета досліджень: розробка навчального стенду для досліджень характеристики сенсора температури охолоджуючої рідини.

Задачі дослідження:

- провести аналіз існуючих сенсорів для вимірювання температури;
- описати основні компоненти системи та принцип їх функціонування;
- експериментально отримати температурну залежність сенсора температури охолоджуючої рідини.

Предмет досліджень: сигнали сенсора температури охолоджуючої рідини.

Об'єкт досліджень: панель "Сенсор температури двигуна".

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Сенсори температури, що застосовуються в автомобілях

1.1.1 Сенсори із зміною опору

Електричні резистори, залежні від температури, є біполярними елементами, особливо придатними для вимірювання температури, незалежно від того чи є вони дрітними, металокерамічними, плівковими, тонкошаровими/товстошаровими або монокристалічними сенсорами. Як правило, вони підключаються до дільника напруги або живляться струмом, що підводиться, для перетворення сигналу в аналоговий сигнал напруги з постійним опором R_v (рис. 1.1) [1..4]. Під час проходження за схемою ділення напруги початкова характеристика сенсора $R(T)$ перетворюється в дещо іншу характеристику $U(T)$:

$$U(T) = U_0 \frac{R(T)}{R(T) - R_0} \quad (1.1)$$

При фіксації струму живлення I_0 точно відтворюється характеристика опору:

$$I(T) = R(T) \cdot I_0 \quad (1.2)$$

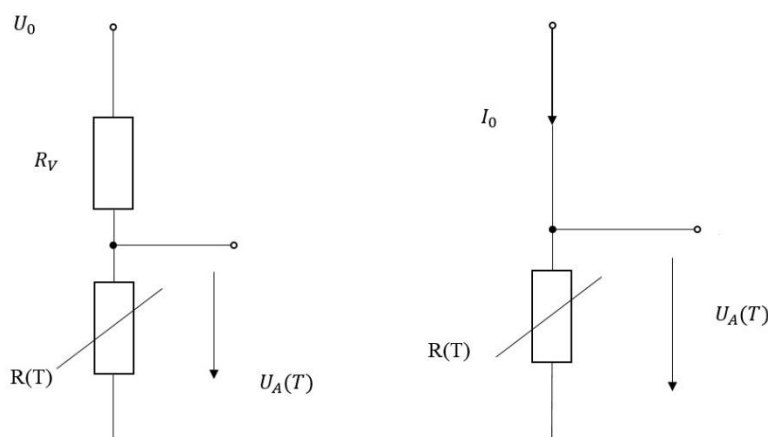


Рисунок 1.1 – Методи перетворення опору в напругу.

I_0 - Струм живлення; U_0 - напруга живлення; R_v - додатковий опір, що не залежить від температури; $R(T)$ - вимірюваний опір, що залежить від температури; $U_A(T)$ - вихідна напруга.

Хоча при використанні схеми дільника напруги більшою чи меншою мірою знижується чутливість вимірювання, залежно від схеми, проте вона характеризується злегка зігнутими прогресивними характеристичними кривими

опору з ефектом лінеаризації. Часто додатковий опір вибирається таким чином, щоб його значення відповідало вимірювальному опору при певній температурі T_0 (наприклад при 20°C) [5..7]:

$$R_v = R(T_0) \quad (1.3)$$

Якщо точність виготовлення є незадовільною, сенсор опору можна довести до заданої величини, використовуючи компенсуючий паралельний опір R_p і послідовний опір R_s - як відносно значення опору (при нормальній температурі), так і відносно температурного коефіцієнта (T_K). Само собою зрозуміло, що за рахунок підключення стаціонарного опору дещо знижується T_K (температурний коефіцієнт) і змінюється характеристика.

1.1.2 Металокерамічні резистори з НТК

Внаслідок дуже високого вимірювального ефекту і невисокої вартості виробництва ширше використовуються напівпровідникові резистори, виконані з оксидів важких металів і окислених змішаних кристалів. Вони спікаються у форму гранули або диска і мають полікристалічну структуру: внаслідок температурних характеристик, що різко спадають, їх також називають терморезисторами або термісторами. Їх характеристики можна описати детальніше з використанням наступного експоненціального закону [5]:

$$R(T) = R_0 \cdot e^{B \cdot (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}, \quad (1.4)$$

де $R_0 = R(T_0)$,

B - параметр;

T — абсолютна температура в градусах Кельвіна.

Спад графіку (T_K) або процентна зміна опору з температурою залежать багато в чому від робочої точки [8,9]:

$$TK = -B/T^2 \quad (1.5)$$

Спад характеристичної кривої різко зменшується при рості температури. Значення опору міняється в межах 4...5 порядків, наприклад, стандартно — від $100\text{ K}\Omega$ до декількох десятків Ω . Сильна залежність від температури дозволяє вибрати діапазон в межах від -40°C до 125°C [10]. Обмежена погрішність не

досягається ні при відборі екземплярів, ні в процесі шліфовки, внаслідок чого це відбивається на ціні. Стійкість таких сенсорів до старіння була значно збільшена в порівнянні з більш ранніми моделями, таким чином вказані неточності зберігаються впродовж терміну експлуатації сенсорів [1..3,11..14].

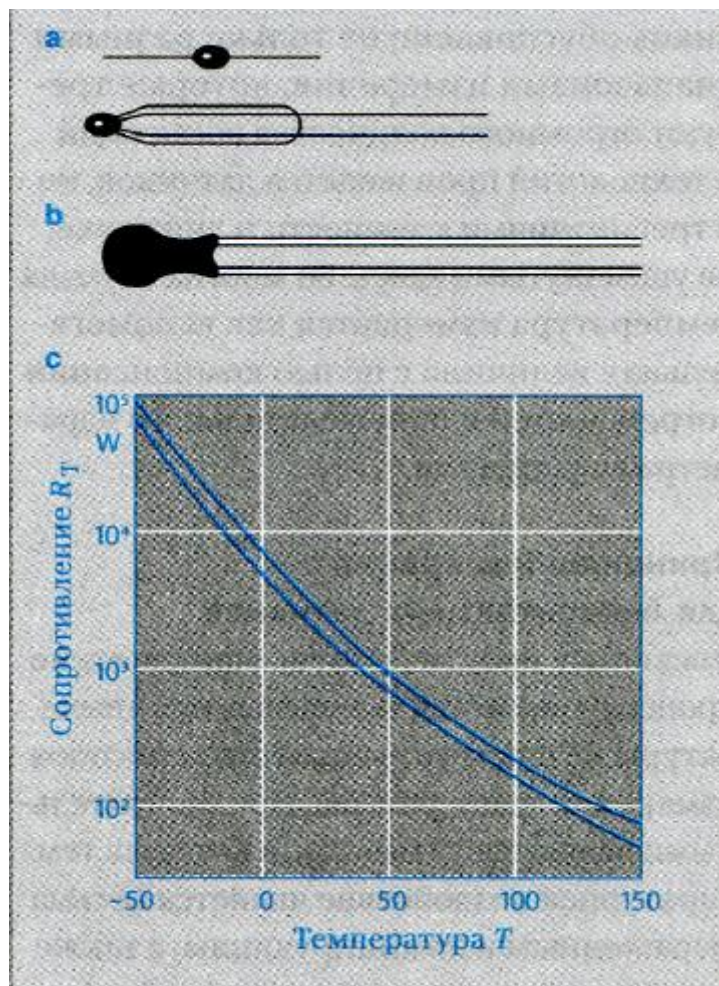


Рисунок 1.2 – Сенсори температури з негативним температурним коефіцієнтом.

а – у формі гранули, б – у формі диску, в – характеристична крива із межами допуску.

2 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ НАВЧАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНОГО СТЕНДУ

Для зручності використання навчально-діагностичного стенду було прийняте рішення зробити його з окремих елементів (панелей) задля зручності його використання та можливості швидкої зміни елементної бази. Тобто стенд складається із рами, на яку можна навішувати різні панелі із сенсорами та виконавчими елементами для проведення їх досліджень. Висота панелей становить фіксовану висоту 290 мм, ширина панелей – в залежності від розташування елементів на ній – від 100 до 300 мм. Загальний вигляд стенду із замонтованими панелями зображено на рис.2.1.

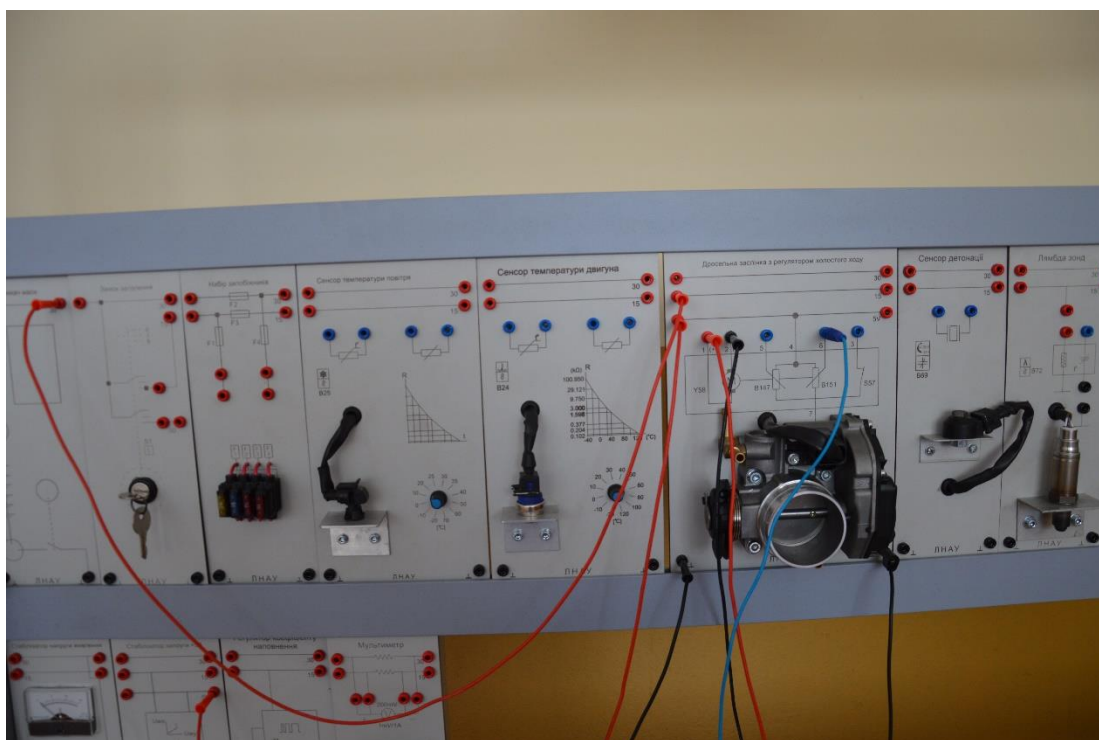


Рисунок 2.1 – Вигляд стенду із замонтованими панелями.

2.1 Розробка панелі для досліджень характеристики сенсора температури охолоджуючої рідини двигуна

Для розробки панелі стенду для дослідження характеристик сенсора температури охолоджуючої рідини використовувався сенсор температури Torpan 08235 з негативною температурною характеристикою, що використовується в автомобілях концерну Volkswagen.

Щоб зробити таблицю спершу було потрібно розробити її макет та, за допомогою комп'ютерних програм, створити у так званих G-кодах програму для керування верстатом. В якості верстату використовувався пристрій з числовим програмним управлінням. Для розробки програми керування використовувалося програмне середовище ArtCam[15].

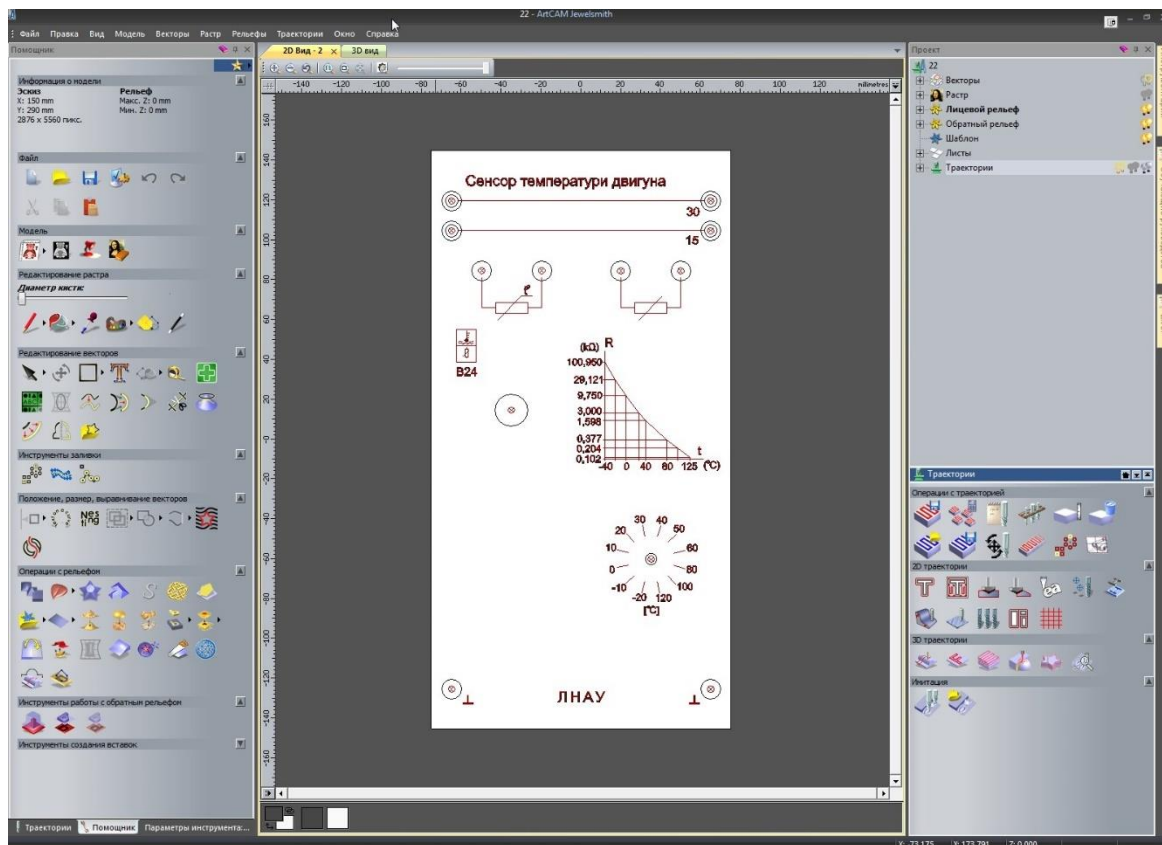


Рисунок 2.2 – Вигляд панелі сенсора температури двигуна у середовищі ArtCam.

Спочатку в середовищі намальовано табличку, проставлені всі розміри, згідно експериментальних досліджень нарисовано графіки та зображення елементів, що розташовано на панелі. В якості симулятора роботи сенсора температури використовувався резистор із змінним опром, із лінійною характеристикою та значенням 30 кОм. Згідно експериментальних досліджень і було розграфлено таблицю, графік температури та проміжні значення ручки потенціометра, для симуляції зміни опору. Всі експериментальні дані наведено в 4-му розділі.

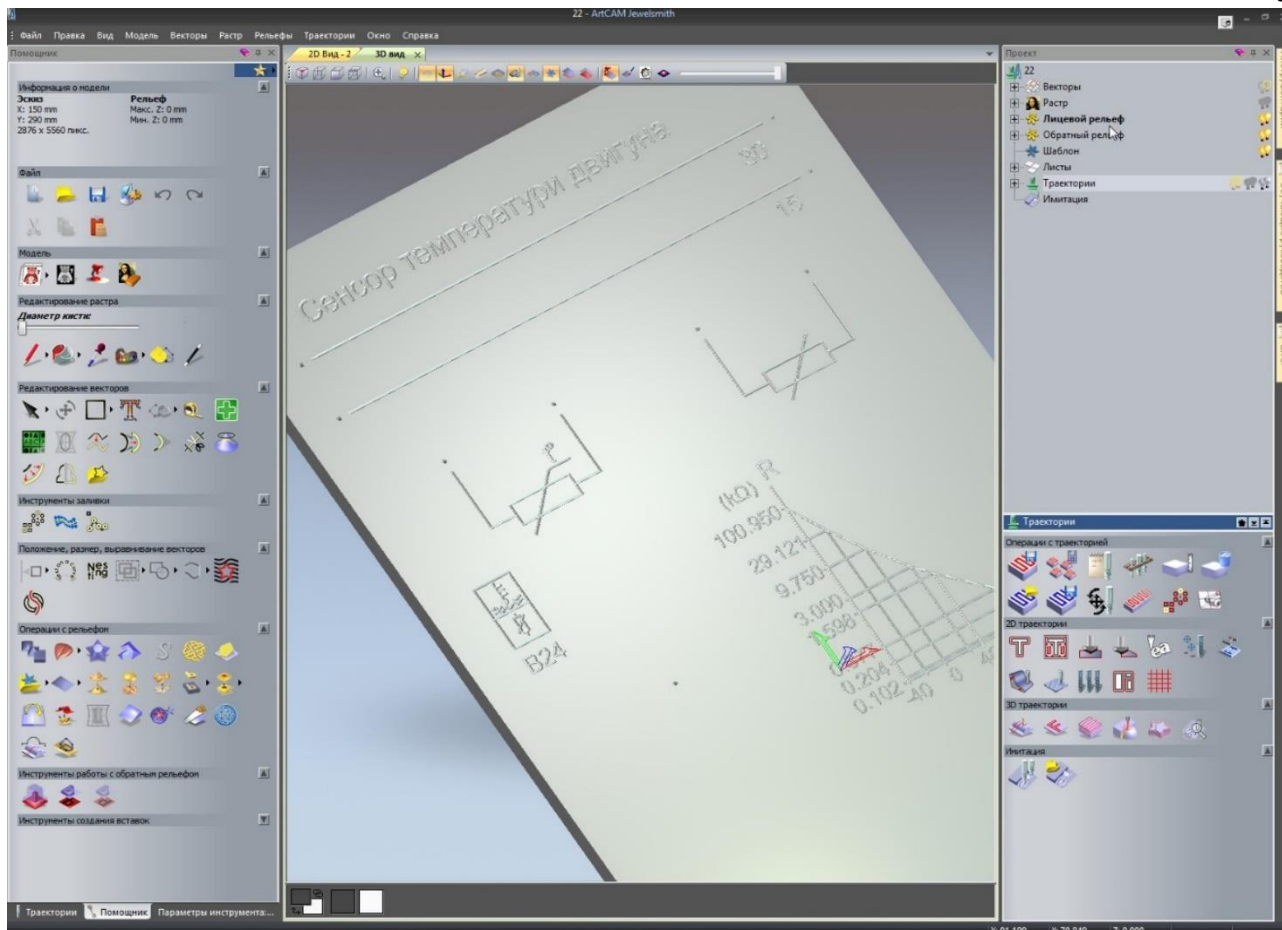


Рисунок 2.3 – Рельєфна поверхня таблиці сенсора температури охолоджуючої рідини в програмному середовищі.

Виконавши малюнок на таблиці, надаємо їй рельєфну поверхню, яку ми будемо формувати за допомогою фрезерного станка під числовим програмним управлінням. Попередньо встановивши, що оптимальне зображення наших ліній та рисунків виходить при заглибленні фрези до 0,5 мм. Відповідно у середовищі задаємо наш параметр, і утворюємо, за допомогою ArtCam, так звані G-коди [16].

Діалогове вікно із нашими отриманими кодами зображено на рис. 2.4.

Програмування систем числового програмного управління (ЧПУ) виробляється за допомогою G -коду. G -код - загальна назва мови програмування, регламентованого стандартом ISO 6983-1:1982, стандартом ГОСТ 20999-83.

Незважаючи на загальну регламентацію, G-код має безліч реалізацій і доповнень, що вводяться, в основному, розробниками апаратних пристроїв систем числового програмного управління, що проте не заважає йому залишатися головним стандартом в галузі.

В цілому програма, що написана з використанням G-коду, складається із окремих рядків, кожен рядок містить набір команд керування. Ці команди управління можуть слідувати в рядку будь-яким порядком, проте, задля зручності відображення програми системи числового програмного управління, спочатку слідують команди підготовчого характеру, потім команди керування переміщеннями, далі йдуть команди щодо вибору режимів обробки матеріалу і наприкінці – технологічні команди.

Починається і закінчується текст керуючої програми символом "%". Далі може слідувати назва програми після символу "O". Коментарі в тексті керуючої програми, розміщуються або в круглих дужках, або їм передуює символ ";".

Кожна команда управління може мати один або декілька параметрів, які позначаються буквами латинського алфавіту.

G -код дозволяє використовувати наступні основні параметри для команд керування:

- X - координата точки траєкторії по осі X (наприклад, G00 X15.4 Y12.3),
- Y - координата точки траєкторії по осі Y (наприклад, G01 X15.4 Y12.3 Z1.2),
- Z - координата точки траєкторії по осі Z (наприклад, G01 X15.4 Y12.3 Z1.2),
- P - параметр команди G04 (наприклад, P100),
- F - швидкість робочої подачі (наприклад, G01 X20.7 F55),
- S - швидкість обертання шпинделя (наприклад, S3500 M2),
- R - параметр стандартного циклу або радіус дуги,
- H - параметр корекції вибраного інструменту,
- I, J, K - параметри дуги при круговій інтерполяції (наприклад, G03 X4 Y4 I1 J1).

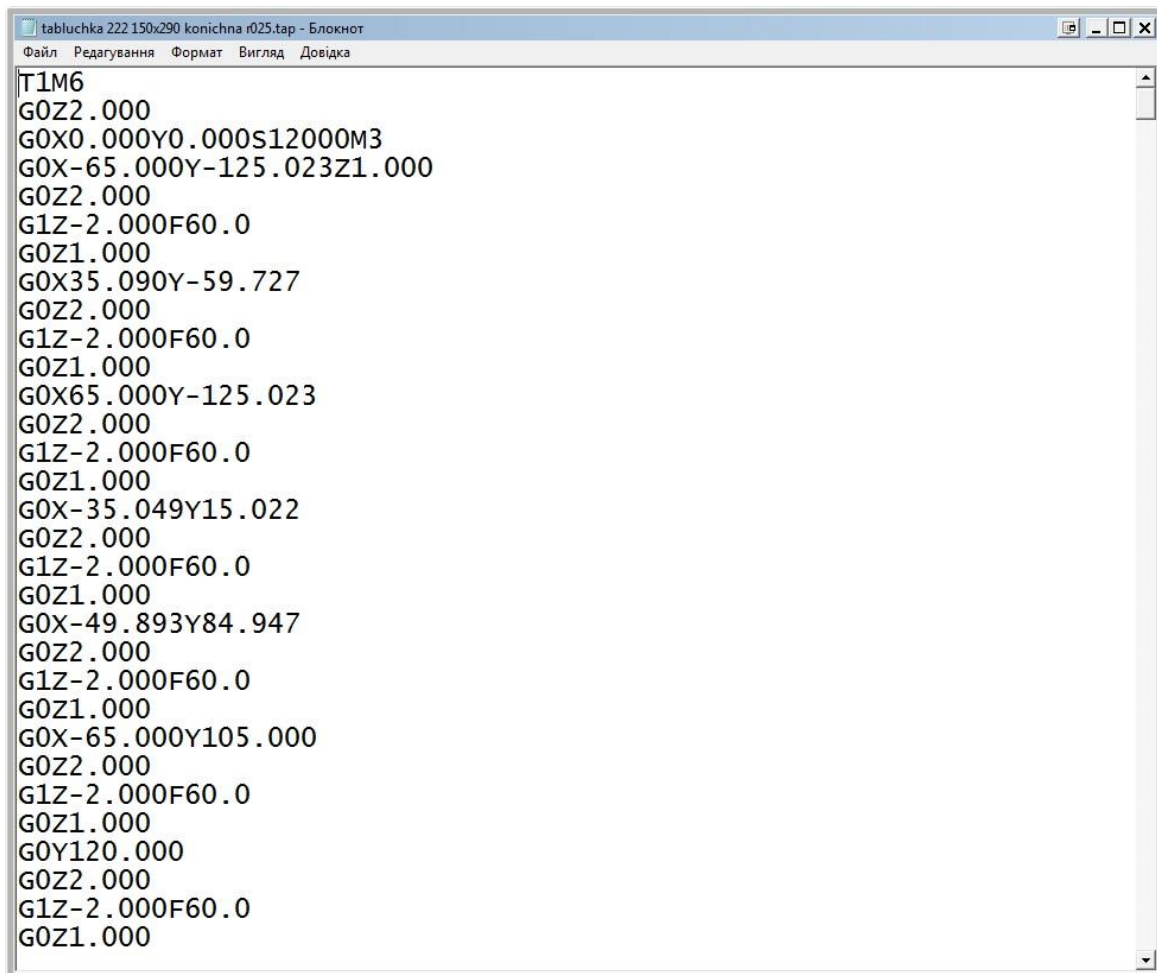


Рисунок 2.4 Вікно рограми із G-кодами для панелі із сенсором температури охолоджуючої рідини.

На рис. 2.5 показано вигляд готової панелі.

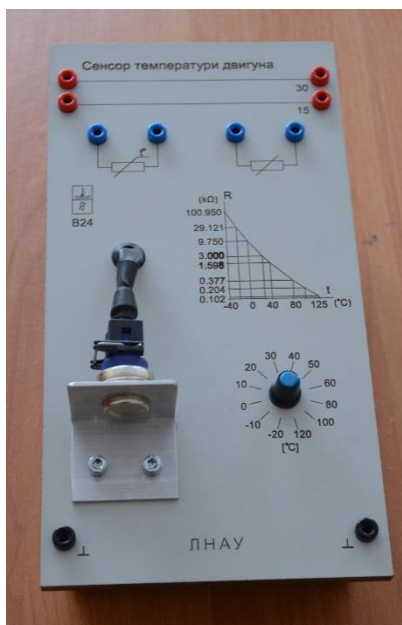


Рисунок 2.5 Загальний вигляд виготовленої панелі.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Дослідження характеристик сенсорів температури

Термістор, що розташований всередині сенсора, є термістором з "негативним температурним коефіцієнтом" - при його нагріванні, опір цього сенсора зменшується. Висока температура охолоджуючої рідини викликає низький опір ($70 \text{ Ом} \pm 2\%$ при 130°C), а низька температура дає високий опір ($100700 \text{ Ом} \pm 2\%$ при -40°C). електронний блок керування подає на сенсор температури охолоджуючої рідини напругу 5 В через резистор з постійним опором, що розташований всередині контролера.

Температуру охолоджуючої рідини контролер розраховує по падінню напруги на сенсорі, що має температурозалежний опір. Падіння напруги є великим на холодному двигуні та низьким при нагрітому до робочої температури двигуні.

Залежність опору сенсора температури в робочому діапазоні температур досить точно описується рівнянням:

$$R_d = A \cdot e^{\frac{1}{T} \cdot B}, \quad (3.1)$$

де R_d - опір сенсора при даній температурі;

T - температура, К;

e - основа натурального логарифма;

A і B - коефіцієнти, характерні для цього сенсора.

Залежність (3.1) називається температурною характеристикою. Для обчислення коефіцієнтів A і B досить підставити два відомі значення опору і відповідні ним температури у вираз (3.1). Цими опорами можуть бути опір сенсора при кімнатній температурі $T_1 = 293^\circ\text{K}$ (20°C) та опір сенсора, наприклад, при температурі $T_2 = 373^\circ\text{K}$ (100°C). Підстановка вказаних значень призводить до системи рівнянь відносно A і B :

$$B = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{R_1}{R_2}$$

$$A = R_1 \cdot e^{-\frac{1}{T_1} B} \quad (3.2)$$

Розв'язавши дані рівняння і підставляючи отримані коефіцієнти співвідношення (3.2) у рівняння (3.1) отримаємо температурну характеристику для даного сенсора температури.

Сенсор підключається до контролера за схемою, представленою на рис. 3.1.

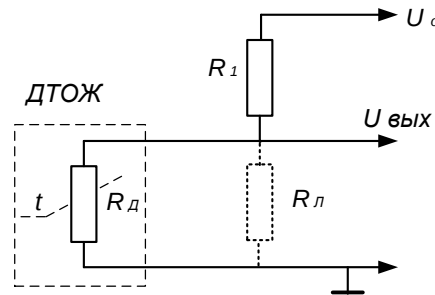


Рисунок 3.1 Під'єднання сенсора до контролера

Зазвичай величину R_1 вибирають таку, щоб струм в ланцюзі не перевищував 1mA . В такому випадку виключається самонагрів сенсора.

Напруга на виході сенсора описується співвідношенням:

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_0}{R_1 + R_{\text{д}}} \cdot R_{\text{д}}, \quad (3.3)$$

Якщо відома напруга U_0 і R_1 тоді опір сенсора $R_{\text{д}}$ можна виразити через $U_{\text{вих}}$ із співвідношення (3.3)

$$R_{\text{д}} = \frac{U_{\text{вих}}}{(U_0 - U_{\text{вих}})} \cdot R_1, \quad (3.4)$$

Функція перетворення ДТОР є нелінійною. Для підвищення лінійності функції часто паралельно сенсору включають додатковий резистор $R_{\text{л}}$. Підбором цього резистора лінійність можна підвищити в досить широкому діапазоні температур.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати досліджень сенсора температури охолоджуючої рідини

Для дослідження температурної залежності опору сенсора температури охолоджуючої рідини використовувався додатково цифровий температурний сенсор DS18B20, що має точність вимірювань $0,5^{\circ}\text{C}$. Для попередньої перевірки сенсора та побудови графіку його значень температура змінювалась у межах $0..100^{\circ}\text{C}$ (від точки замерзання води до точки кипіння). Вимірювання проводились тричі. Згідно отриманих даних вираховувались коефіцієнти температурного сенсора та відповідно виводилась графічна характеристика на панель сенсора. Поруч із цим визначалась характеристика потенціометра для симулювання температурної характеристики сенсора.

Відповідно експериментальних даних та визначених за допомогою формули (3.2) коефіцієнтів термосенсора побудовано графічну характеристику зміни опору від температури (Рисунок 4.1). Табличні значення наведені в табл. 4.1. R_e - експериментальні дані, R_p – розраховані дані по формулі (3.1).

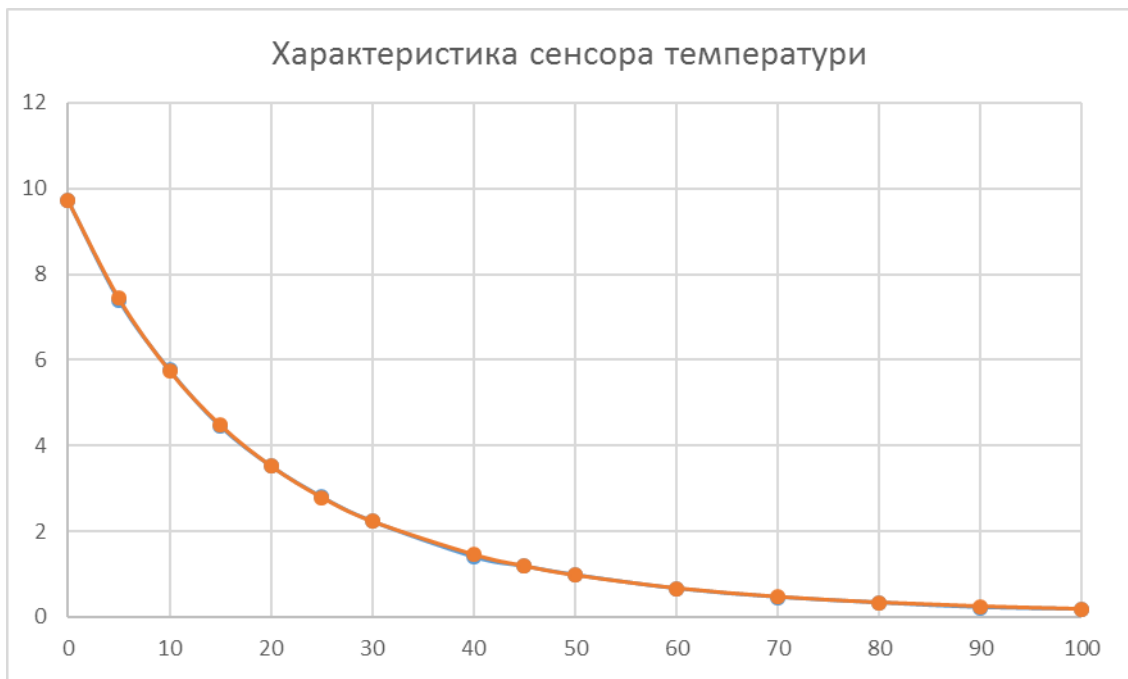


Рисунок 4.1 – експериментальні та розрахункові характеристики сенсора температури

Значення коефіцієнту $A=3,356 \cdot 10^{-6}$, $B=4061,943$.

Таблиця 4.1 Залежність опору сенсора від температури

T°C	0	5	10	15	20	25	30	40	45	50	60	70	80	90	100
Re, кОм	9,72	7,4	5,76	4,45	3,52	2,8	2,23	1,4	1,18	0,98	0,66	0,46	0,33	0,22	0,18
Rp, кОм	9,72	7,44	5,75	4,48	3,52	2,79	2,23	1,45	1,18	0,97	0,67	0,47	0,33	0,24	0,18

Графік отриманої розрахункової характеристики для сенсора температури охолоджуючої рідини в межах $-40 \dots 120^\circ\text{C}$ зображено на рис. 4.2. для зручності його відображення графік подано в логарифмічній шкалі по опору сенсора оскільки його характеристика носить експоненціальний характер.

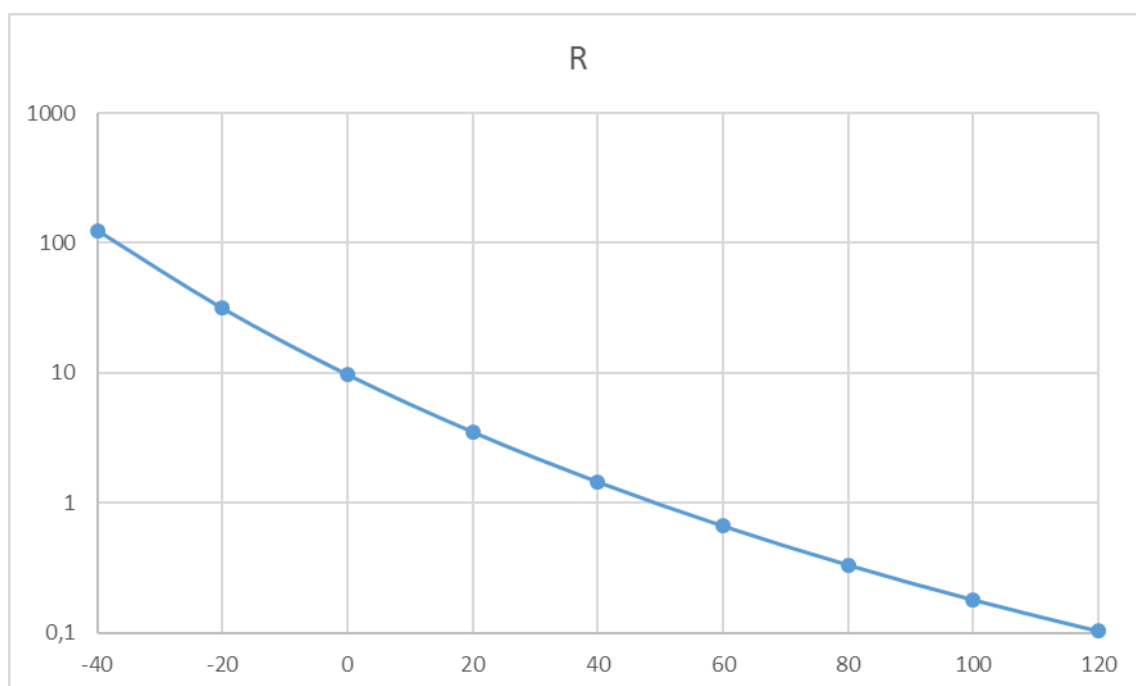


Рисунок 4.2 – Розрахована характеристика сенсора температури

Склавши схему з рис. 3.1 використовуючи різні значення опорів по живленню отримуємо слідуючу таблицю даних та графік, що зображений на рис.4.3. Характеристики вихідної напруги вимірювались із значеннями опорів 1кОм, 3кОм та 5кОм.

Таблиця 4.2 Залежність вихідної напруги від значення опору живлення.

T°C	0	5	10	15	20	25	30	40	45	50	60	70	80	90	100
Re,кОм	9,72	7,4	5,76	4,45	3,52	2,8	2,23	1,4	1,18	0,98	0,66	0,46	0,33	0,22	0,18
Uвих,1 кОм	4,53	4,40	4,26	4,08	3,89	3,68	3,45	2,92	2,71	2,47	1,99	1,58	1,24	0,90	0,76
Uвих,3 кОм	3,82	3,56	3,29	2,99	2,70	2,41	2,13	1,59	1,41	1,23	0,90	0,66	0,50	0,34	0,28
Uвих,5 кОм	3,30	2,98	2,68	2,35	2,07	1,79	1,54	1,09	0,95	0,82	0,58	0,42	0,31	0,21	0,17

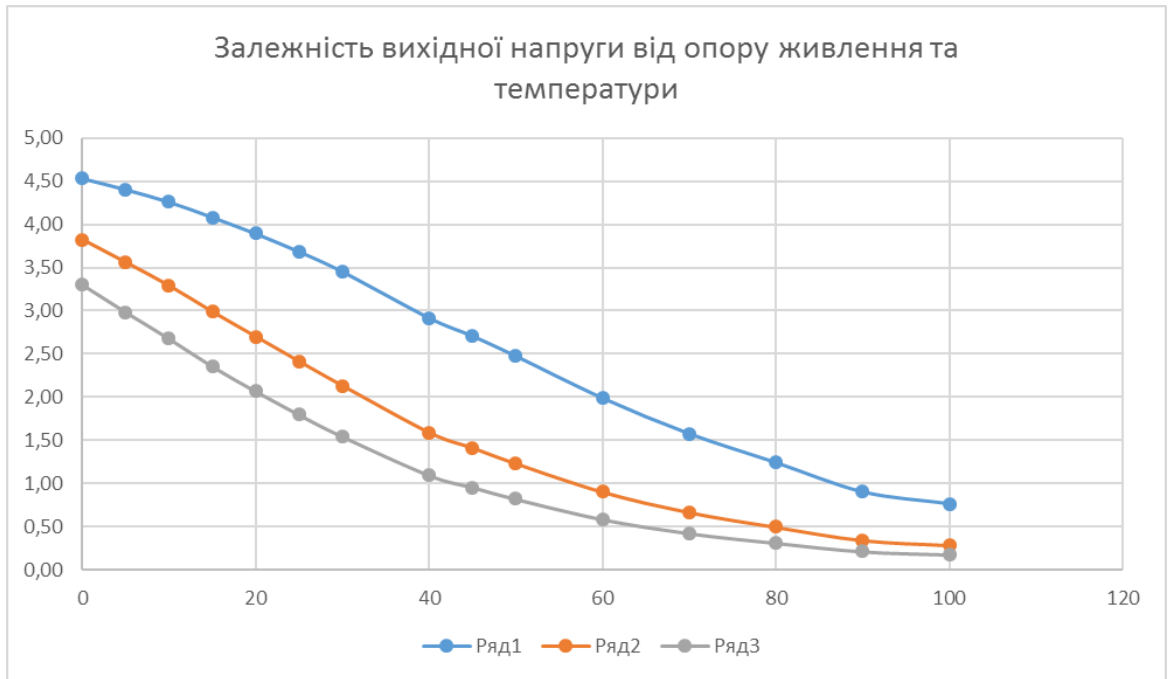


Рисунок 4.3 – Залежність вихідної напруги від опору живлення та температури

Задля перевірки лінеаризації вихідного сигналу також було проведено дослідження вихідної напруги від значення опору лінеаризації. Було вибрано в якості опорів лінеаризації значення 1кОм, 3кОм, 5кОм та 10кОм. Графіки величини вихідної напруги при різних значеннях опору лінеаризації зображено на рис. 4.4.

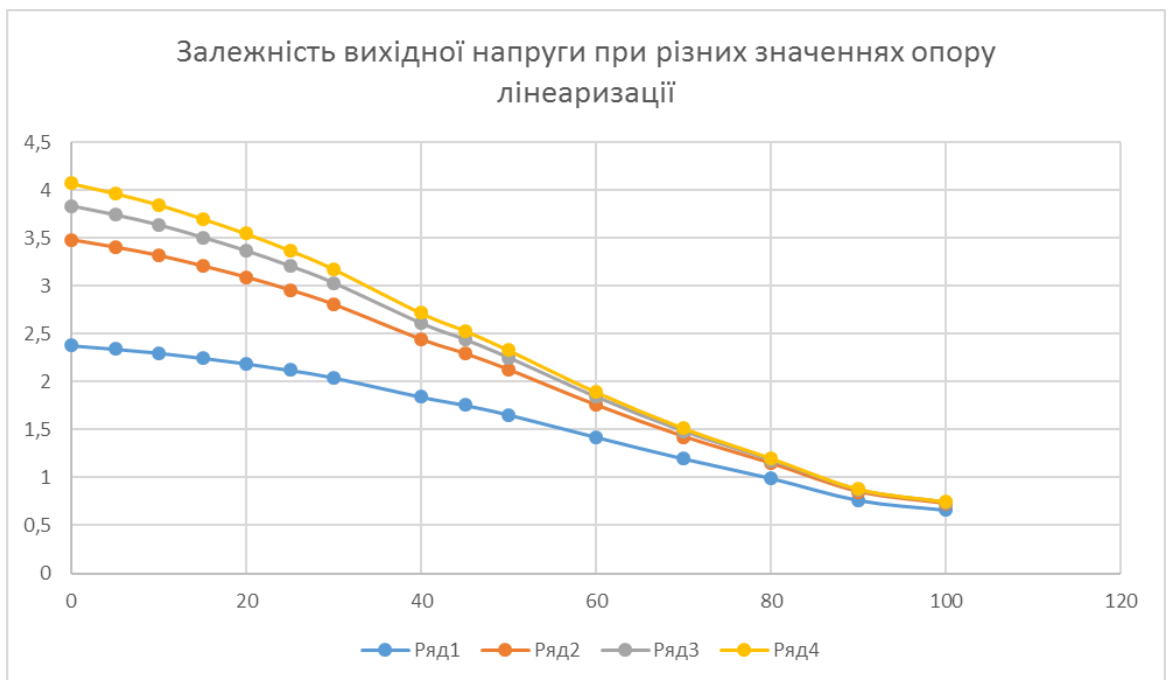


Рисунок 4.4 Графік залежності вихідної напруги від температури при різних значеннях опору лінеаризації.

Як видно з отриманих графіків, найбільш пологі (лінійні) характеристики отримуємо при використанні опору живлення 1кОм та при використанні опору лінеаризації 3кОм .

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано характеристику та принцип дії сенсорів температури, що використовуються в автомобілях.
2. Розроблено панель для дослідження характеристики сенсора температури двигуна. Панелі входять до лабораторного стенду "Сенсорика автомобілів".
3. Наведено методику проведення експериментальних досліджень сенсорів температури.
4. Проведено дослідження температурних сенсорів, наведено їх графічні характеристики, розраховано опори ввімкнення цих сенсорів по живленню та опори лінеаризації. Визначено, найбільш пологі (лінійні) характеристики для сенсора температури охолоджуючої рідини отримуємо при використанні опору живлення 1кОм і опору лінеаризації 3кОм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Robert Bosch GmbH. Датчики в автомобиле. / Москва: "За рулем", 2013. 166 с.
2. Kiencke U., Nielsen L. Automotive Control Systems. 2-е вид./ Springer-Verlag, 2005. 512 с.
3. Robert Bosch GmbH. Автомобильный справочник. 3-е изд. / Москва: За рулем, 2012. 1280 с.
4. Robert Bosch GmbH. Bosch Automotive Electrics. 5th ed. / Plochingen: Springer Vieweg, 2007. 530 pp.
5. Терморезистор - Вікіпедія [Електронний ресурс] / Вікіпедія: [сайт]. [2020]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Терморезистор> (дата звернення: 20.11.2020).
6. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобіля. / Львів: Видавництво НУЛП, 2004. 168 с.
7. Трантер А. Руководство по электрическому оборудованию автомобилей./Москва: Альфамер-Паблишинг, 2001. 256 с.
8. Соснин Д.А., Яковлев В.Ф. Новейшие автомобильные электронные системы. / Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. 240 с.
9. Литвиненко В.В., Майструк А.П. Автомобильные датчики, реле и переключатели. Краткий справочник. / Москва: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. 176 с.
10. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. / Львів: Видавництво НУЛП, 2006. 440 с.
11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. / Київ: Знання-Прес, 2003. 511 с.
12. Halderman J.D. Automotive technology./ Boston: Prentice Hall, 2011. Electronic Book.
13. Robert Bosch GmbH. Системы управления дизельными двигателями. / Москва: "За рулем", 2004. 480 с.

14. Robert Bosch GmbH. Системы управления бензиновыми двигателями. / Москва: "За рулем", 2002. 270 с.
15. ArtCam|Autodesk [Електронний ресурс] / Веб-сайт корпорації Autodesk: [сайт]. [2020]. URL: <https://www.autodesk.com/products/artcam/overview> (дата звернення: 12.12.2020).
16. G-code - Вікіпедія [Електронний ресурс] / Вікіпедія: [сайт]. [2020]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/G-code> (дата звернення: 20.12.2020).