

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

Розрахунково-графічна робота

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою
програмою «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Технічна термодинаміка: розрахунково-графічна робота. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: Ю.П. Вишневська / КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 334 Кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 19 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 4 від 19 січня 2023 р.) за поданням Вченої ради факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол №5 від 28 листопада 2022 р.)

Електронне мережне навчальне видання

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Укладач: *Вишневська Юлія Павлівна*, канд. техн. наук, ст. викладач кафедри відновлюваних джерел енергії, ФЕА

Відповідальний редактор: *Будько Василь Іванович*, докт. техн. наук, доцент кафедри відновлюваних джерел енергії, ФЕА

Рецензент: *Пушкар Микола Васильович*, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, ФЕА

© Ю.П. Вишневська
©КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Рекомендації щодо виконання та оформлення розрахункової роботи.....	5
Основні теоретичні відомості та завдання до роботи	7
Перелік рекомендованої літератури.....	16
Додаток А Зразок титульної сторінки розрахункової роботи.....	17
Додаток Б Зразок сторінки завдання до розрахункової роботи.....	18
Додаток В Варіанти завдань для виконання розрахункової роботи.....	19

ВСТУП

Підготовка студентів у межах курсу «Технічна термодинаміка» як технічного змістовного модуля спрямована на формування уявлень студентів про:

- основні термодинамічні поняття і закони;
- основні закономірності та особливості способів передачі теплоти;
- теплотехнічні параметри, різновиди і характеристики палива;
- види теплоносіїв, області їх застосування;
- методи аналізу та оцінювання теплової ефективності теплотехнічного обладнання.

Дисципліна «Технічна термодинаміка» формує базові знання основних законів технічної та хімічної термодинаміки, уміння оцінювати ефективність термодинамічних систем, що необхідні для вивчення у подальшому таких дисциплін як «Низькопотенційні джерела енергії», «Проектування енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії», «Фізика і техніка відновлюваної енергетики».

Метою даного навчального посібника є поглиблення вивчення дисципліни та набуття навичок і вмінь самостійних розрахунків, аналізу та обґрунтування висновків у процесі вивчення дисципліни «Технічна термодинаміка».

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Мета виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) – закріплення теоретичного матеріалу курсу «Технічна термодинаміка», вироблення у студентів навичок та умінь самостійно користуватись навчальною і спеціальною літературою для виконання типових термодинамічних розрахунків. При виконанні РГР необхідно дотримуватися наведених нижче правил. Роботи, виконані без дотримання цих правил, можуть бути повернені студентові для доопрацювання. Розрахункова робота оформлюється у вигляді розрахунково-пояснювальної записки, яка містить 10-20 сторінок формату А4. Умовні графічні позначення елементів схем повинні відповідати ДСТУ. Літери позначення і найменування величин повинні бути подані в одиницях СІ.

Структура та зміст роботи. Типова структура розрахунково-пояснювальної записки така:

- титульний аркуш;
- аркуш завдання;
- зміст;
- вступ;
- основна частина;
- список літератури (перелік посилань);
- додатки (за необхідності).

Усі структурні елементи роботи починаються з нової сторінки. Титульний аркуш містить:

- назви вищого навчального закладу та кафедри;
- назву дисципліни і назву роботи;
- назву групи, прізвище, ім'я і по батькові студента;
- прізвище, ініціали викладача;
- місто та рік.

Приклад оформлення титульного аркуша наведено у додатку А. Аркуш завдання – стандартний бланк завдання (Додаток Б), заповнюється студентом самостійно згідно зі своїм варіантом. Варіант завдання на розрахункову роботу студент визначає за номером у загальному списку групи. Вступ містить коротку характеристику термодинамічних процесів. Основна частина містить розв'язання всіх завдань з усіма необхідними розрахунками, поясненнями, обґрунтовуючи всі дії за ходом розв'язку, з виконанням всіх необхідних рисунків, які обов'язково супроводжуються посиланнями на використану літературу. Порядок розрахунку за формулою:

- записати формулу, за якою обчислюють величини параметра, у загальному вигляді;
- привести значення кожного умовного позначення;
- підставити у формулу числові значення і обчислити величини;
- провести перевірку одиниць вимірювання.

В кінці роботи необхідно зазначити список використаної літератури (джерел).

2. ПОРЯДОК ЗАХИСТУ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Кафедра складає графік ходу виконання РГР, де зазначаються контрольні терміни виконання основних розділів, подання роботи до захисту. Якщо при виконанні роботи у студента виникають ускладнення з вирішенням завдань, він може звернутися до викладача за консультацією.

Студент, що не подав розрахунково-графічну роботу, чи не захистив її у встановлений термін, вважається таким, що має академічну заборгованість.

У процесі захисту студент обґрунтовує рішення, що приймаються, відповідає на поставлені запитання.

За результатами захисту розрахункової роботи студент отримує диференційовану оцінку, яка виставляється на титульному аркуші і завіряється підписом викладача.

2. ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГАЗОВОГО ЦИКЛУ.

2.1. Завдання.

2.1.1. *Загальні положення.* Всі теплові машини (теплові двигуни, теплосилові установки, компресори, холодильні установки) працюють за круговими процесами або циклами. Для термодинамічного аналізу роботи таких машин важливо знати умови, за яких здійснюється процес перетворення теплоти в роботу. Циклом називають круговий замкнутий процес, що відбувається в тепловій машині. У термодинаміці цикли складаються з термодинамічних процесів і графічно зображують у системі координат, наприклад, у системі p v – або T s –, де по осі абсцис відкладаються, в масштабі відповідно питомий об'єм і ентропія, а по осі ординат – абсолютний тиск і температура. Таким чином, термодинамічний цикл, зображений графічно, являє собою замкнуту фігуру, що складається з ряду ліній, кожна з яких відображає термодинамічний процес. Точки перетину ліній процесів називають характерними точками циклу. Характерна точка графічно зображує кінцевий стан газу одного процесу і початковий стан наступного процесу. Перед виконанням завдання необхідно вивчити теми: «Параметри стану газу», «Закони ідеальних газів», «Перший і другий закони термодинаміки». Студент повинен твердо знати фізичний зміст параметрів стану, одиниці вимірювання параметрів стану, їх зв'язок, зрозуміти фізичний зміст газових законів і вміти користуватися цими знаннями в термодинамічних розрахунках.

2.1.2. *Зміст завдання.* Для заданого термодинамічного газового циклу, в якому робочим тілом є 1 кг газу (Додаток В), необхідно:

1. Визначити відсутні параметри в характерних точках циклу.

2. За заданими термодинамічними процесами циклу розрахувати зміну внутрішньої енергії ΔU , роботу A , кількість теплоти Q , зміни ентальпії ΔH , ентропії ΔS .

3. Для циклу визначити корисно використане тепло $q_{ц}$, роботу циклу $A_{ц}$, термічний к.к.д η_t .

4. Зобразити у вибраному масштабі термодинамічний цикл в pV – та TS –діаграмах.

2.2. Вихідні дані та варіанти до розрахунково-графічної роботи.

Вихідні дані розрахунково-графічної роботи: робоче тіло – 1 кг газу (Додаток В). В процесі роботи теплового двигуна цей газ здійснює цикл, що починається в точці 1 з параметрами $p_1 = 760$ мм.рт.ст., $t_1 = 20^\circ\text{C}$ та складається з п'яти процесів:

- адіабатний 1-2 ($p_2 = 10$ ат.);
- ізохорний 2-3 ($p_3 = 14$ бар);
- ізотермічний 3-4 ($V_4/V_1 = 0,8$);
- політропний 4-5 ($V_5/V_1 = 1,5$), для деяких варіантів політропний процес відсутній, тоді процес 4-5 вважати адіабатним, а співвідношення V_5/V_1 – визначити самостійно.
- ізобарний 5-1.

2.3. Методичні вказівки.

2.3.1 Відсутні параметри стану в характерних точках циклу можна визначити, використовуючи основні закони ідеальних газів (Шарля, Гей-Люссака, Бойля-Маріотта). Рівняння стану для ідеальних газів – рівняння Клапейрона

$$\frac{p \cdot V}{T} = R_i,$$

де p – абсолютний тиск газу, Па; V – питомий об'єм газу, м³/кг; T – абсолютна температура газу, К; R_i – індивідуальна газова стала, Дж/кг · К.

Індивідуальну газову сталу можна визначити за формулою:

$$R_i = \frac{R}{M},$$

де R – універсальна газова стала, $R = 8314 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$, M – молярна маса заданого газу, кг/кмоль.

2.3.2. Результати визначення параметрів стану наводяться у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 Параметри стану ідеального газу у характерних точках циклу.

Параметр Характерна точка	P , МПа	V , м ³ /кг	T , К	Примітка
1				
2				
3				
4				
5				

2.3.3. **Визначення масових ізобарних і ізохорних теплоємностей.** Масові ізобарна і ізохорна теплоємності (кДж/кг · К) визначаються за формулами:

$$c_p = \frac{\mu c_p}{M}, \quad c_v = \frac{\mu c_v}{M},$$

де μc_p , μc_v – молярні ізобарна і ізохорна теплоємності, кДж/(кмоль · К).

Таблиця 2. Наближені значення мольних теплоємностей при постійному об'ємі і постійному тиску ($c = \text{const}$).

Гази	μc_v , кДж/(кмоль К)	μc_p , кДж/(кмоль К)
Одноатомні	12,56	20,93
Двоатомні	20,93	29,31
Триатомні	29,31	37,68

2.3.4. *Процеси газового циклу.* Розглянуті процеси газу рівноважні, тобто складаються з рівноважних проміжних станів, які характеризуються однаковим тиском, питомим об'ємом і температурою. Розрахунок процесів газового циклу починається з процесу (1-2). Рівняння першого закону термодинаміки дає можливість досліджувати явища, що відбуваються з газами при зміні його стану. У загальному вигляді перший закон термодинаміки представляє собою математичний вираз закону збереження і перетворення енергії. Його можна представити в такому вигляді: $Q = \Delta U + A$, тобто підведене до газу тепло витрачається на зміну внутрішньої енергії газу і на виконання роботи. Зміна ентальпії для термодинамічних процесів визначається за формулою $\Delta H = c_p \cdot (T_2 - T_1)$. Перетворення роботи в теплоту відбувається завжди повністю, зворотний же процес перетворення теплоти в роботу при безперервному переході можливий лише за певних умов. Другий закон термодинаміки встановлює умови перетворення теплової енергії в механічну, визначає напрям, у якому протікають процеси, а також максимальне значення роботи, яка може бути проведена тепловим двигуном. Для вивчення процесів перетворення теплоти в роботу в теплових двигунах використовують параметр стану газу – ентропію газу. У даній роботі розглядається прямий оборотний цикл. Другий закон термодинаміки для оборотного процесу має вигляд: $dQ = T \cdot dS$. Для обчислення зміни ентропії для термодинамічних процесів (крім адіабатних) використовують логарифмічні залежності. У адіабатному процесі зміни стану газу, в якому $Q = 0$, ентропія не змінюється (ізоентропійний процес). Якщо у прямому циклі в процесі розширення до газу підводиться теплота в кількості q_1 , а в процесі стиснення від газу теплота відводиться в кількості q_2 , то різниця $q_1 - q_2 = q_u$ – теплота, яка витрачається протягом циклу в результаті перетворення її в механічну енергію. Оскільки газ повертається в початковий стан, зміни внутрішньої енергії немає $\Delta U = 0$, тобто відповідно до

першого закону термодинаміки: $q_u = A_u$, так як в циклі здійснена корисна робота. Теплота q_u , витрачена на здійснення корисної роботи, називається корисною теплотою; кількості тепла q_1 називається підведеною теплотою, а q_2 – відведеною. Для кількісної оцінки роботи ідеального теплового двигуна, в якому відсутні втрати на тертя та випромінювання вводиться відношення $\eta_t = \frac{q_u}{q_1} = \frac{A_u}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \cdot 100\%$, яке називається термічним коефіцієнтом корисної дії. Цей коефіцієнт відображає кількість корисної роботи на одиницю підведеної теплоти.

Ізохорний процес. Рівняння ізохори $v = \text{const}$. Для цього процесу зв'язок між термічними параметрами початкового і кінцевого станів газу виражається законом Шарля $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$. У цьому процесі вся підведена теплота витрачається на зміну внутрішньої енергії, так як газ не виконує роботу $A = 0$, кДж/кг, $q_v = \Delta U$. Зміна ентропії, кДж/кг · К: $\Delta S = c_v \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$.

Ізобарний процес. Рівняння ізобари $p = \text{const}$. Для цього процесу зв'язок між термічними параметрами початкового і кінцевого станів виражається законом Гей-Люссака: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$. Робота зміни об'єму газу, кДж/кг:

$$A = p \cdot (v_2 - v_1) \text{ або } A = R \cdot (T_2 - T_1).$$

Рівняння першого закону термодинаміки для процесу $Q = \Delta U + A = c_v \cdot (T_2 - T_1) + p \cdot (v_2 - v_1)$. В ізобарному процесі вся підведена теплота витрачається на зміну ентальпії газу, кДж/кг $q_p = \Delta H = H_2 - H_1$. Зміна ентропії, кДж/кг · К: $\Delta S = c_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$.

Ізотермічний процес. Рівняння ізоТЕРМИ $pv = \text{const}$. Для цього процесу справедливий закон Бойля-Маріотта. Залежність між початковими і кінцевими параметрами $\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1}$. Роботу 1 кг газу можна визначити, використовуючи рівняння

$$A = R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right);$$

$$A = R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right);$$

Внутрішня енергія в ізотермічному процесі не змінюється, тому $\Delta U = 0$. Кількість теплоти, що передається газу чи відводиться від нього: $q_t = A$. Зміна ентальпії дорівнює нулю $\Delta H = 0$. Зміна ентропії:

$$\Delta S = R \cdot \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right);$$

$$\Delta S = R \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right);$$

Адіабатний процес. Адіабатним називається процес, що протікає без теплообміну між робочим тілом і навколишнім середовищем. $pv^k = \text{const}$ – рівняння адіабати, де k – показник адіабати $k = \frac{c_p}{c_v}$. Залежність між початковими і кінцевими параметрами процесу:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^k;$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1};$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

Кількість теплоти для даного процесу $q = 0$, тоді рівняння першого закону термодинаміки для адіабатного процесу $0 = \Delta U + A$, отже, зміна внутрішньої енергії $\Delta U = c_v \cdot (T_2 - T_1) = -A$. Робота розширення відбувається через зменшення внутрішньої енергії, при стисненні ж витрачається на збільшення внутрішньої енергії:

$$A = \frac{1}{k-1} \cdot (p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2) \text{ або}$$

$$A = \frac{R}{k-1} \cdot (T_1 - T_2)$$

Зміна ентропії $\Delta S = 0$.

Політропний процес. Політропними називаються процеси, в яких теплоємність має будь-яке, але постійне протягом всього процесу значення.

$p v^n = \text{const}$ – рівняння політропи, де n – показник політропи

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v},$$

де c – теплоємність політропного процесу, кДж/(кмоль К)

$$c = c_v \cdot \frac{n - k}{n - 1}.$$

Залежність між початковими і кінцевими параметрами процесу

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n;$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1};$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}.$$

Роботу в політропному процесі можна визначити, використовуючи рівняння:

$$A = \frac{1}{n-1} \cdot (p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2) \text{ або}$$

$$A = \frac{R}{n-1} \cdot (T_1 - T_2)$$

$$A = \frac{k-1}{k-n} \cdot q.$$

Кількість теплоти, що підводиться до газу чи відводиться від нього, кДж/кг

$$q = c \cdot (T_2 - T_1) = c_v \cdot \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1).$$

Зміна внутрішньої енергії $\Delta U = c_v \cdot (T_2 - T_1)$ або $\Delta U = \frac{n-1}{1-k} \cdot A$. Зміна ентропії в

політропному процесі $\Delta S = c \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right).$

2.4. Результат розрахунку термодинамічних процесів газового циклу заноситься до табл. 3.

Таблиця 3 Розрахунок термодинамічних процесів газового циклу

Параметр Процеси	A, кДж/кг	ΔU , кДж/кг	q, кДж/кг	ΔH , кДж/кг	ΔS , кДж/(кг·К)
1 - 2					
2 - 3					
3 - 4					
4 - 5					
5 - 1					

3. Аналіз ефективності циклу.

3.1 Визначення роботи циклу

$$A_u = q_1 - q_2.$$

Підведена кількість теплоти (q_1), складається з додатних чисельних значень кількості теплоти, а відведена кількість теплоти (q_2) – з від’ємних. У формулі q_2 потрібно брати за абсолютною величиною.

3.2. **Визначення корисно використаної теплоти q_u** (Див. п. 3.4.) $q_u = A_u$.

3.3. **Визначення термічного к.к.д газového циклу η_t** $\eta_t = \frac{A_u}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \cdot 100\%$.

4. Перевірка правильності розрахунку газového циклу. Зміна внутрішньої енергії, ентальпії та ентропії є функціями стану і залежать тільки від початкового і кінцевого стану процесу, для кругового циклу в цілому вони будуть дорівнюють нулю. Тому, просумуйте ΔU , ΔH , ΔS по циклу. Робота ж є функцією процесу, і буде визначатися кількістю підведеної та відведеної теплоти.

5. Побудова термодинамічного газového циклу в Ts – діаграмі. По осі абсцис відкладаються в масштабі чисельні значення ентропії, а по осі ординат – температури. Приймаючи точку 1 (початок) довільно на осі абсцис, але відповідну для даної точки 1 на осі ординат температури, від неї відкладаємо вліво від’ємні значення зміни ентропії (ΔS), а вправо – додатні значення, відповідно до обраного масштабу. Температури повинні відповідати табл.1 для даної точки лінії процесу. Послідовно відкладаючи значення температур і, відповідно, ΔS для лінії процесу, будуємо замкнутий цикл, вважаючи, що кінець даного процесу, є початком наступного.

6. Побудова проміжних точок процесів циклу в pV - і Ts -діаграмах. Для побудови криволінійної залежності ізотермічного процесу в pV -, ізобарного і ізохорного в Ts -діаграмах потрібно задатися параметрами (тиском або об’ємом) проміжних точок циклу. Наприклад, тиском, і визначити питомий об’єм в цій точці.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Несмашний Є.О.** Класична механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – Кривий Ріг: КП «Криворізька друкарня», 2010. – 211 с.
2. **Приходько М.А., Герасимов Г.Г.** Термодинаміка та теплопередача. Навчальний посібник. - Рівне: НУВГП, 2008. –250 с.: іл..
3. **Буляндра, О.Ф.** Технічна термодинаміка [Текст] : підручник / О. Ф. Буляндра. – 2-ге. вид., випр. – К. : Техніка, 2006. – 320 с.
4. **Чепурний М.М., Ткаченко С.Й.** Основи технічної термодинаміки. – Вінниця: «Поділля-2000». – 2004. – 352 с.
5. **Дудик М. В.** Термодинаміка і статистична фізика (курс лекцій) : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів фізико-математичних спеціальностей / М. В. Дудик. – Умань : ПП «Жовтий», 2015. – 132 с.
6. **Ігнатенко В. М.** Основи молекулярної фізики та термодинаміки [Текст]: навч. посіб. / В. М. Ігнатенко. - Суми: СумДУ, 2011. – 248 с.

ДОДАТОК А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ



РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА
з дисципліни
“Технічна термодинаміка”

Виконав студент:
гр. ЕД-31 Петренко П.П.
Перевірив: к.т.н., ст.викладач
кафедри ВДЕ
Вишневська Ю.П.

КИЇВ 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»

Кафедра відновлюваних джерел енергії
енергії

З А В Д А Н Н Я

до розрахункової роботи

з дисципліни «Технічна термодинаміка»

студентові _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи « _____ »
_____ »

2. Термін здачі студентом РР « _____ » _____ 20 ____ р.

3. Початкові дані до РР: _____

4. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20 ____ р.

Керівник _____ (Вишневська Ю.П.)
(підпис)

Завдання до виконання

прийняв студент _____ (_____)
(підпис)

**Варіанти робочого тіла для виконання
розрахункової роботи**

№	Газ	Формула	Молярна маса, кг/кмоль	Молярна теплоємність, кДж/(кмоль К)
1	Гелій	He	4,0026	20,79
2	Неон	Ne	20,1797	20,786
3	Аргон	Ar	39,948	20,79
4	Криптон	Kr	83,798	20,7
5	Ксенон	Xe	131,293	20,79
6	Водень	H ₂	2,0156	28,893
7	Кисень	O ₂	31,998	29,4
8	Азот	N ₂	28,0128	29,125
9	Фтор	F ₂	37,9968	31,34
10	Хлор	Cl ₂	70,892	33,9
11	Монооксид азоту	NO	30,01	29,86
12	Монооксид вуглецю	CO	28,01	29,1
13	Хлороводень	HCl	36,4606	29,13
14	Озон	O ₃	47,998	39,2
15	Діоксид вуглецю	CO ₂	44,01	37,135
16	Діоксид азоту	NO ₂	46,0055	37,5
17	Діоксид сірки	SO ₂	64,066	39,9
18	Сірководень	H ₂ S	34,08	34,6
19	Аміак	NH ₃	17,03	36,9
20	Метан	CH ₄	16,04	35,69
21	Ацетилен	C ₂ H ₂	26,037	41,66
22	Етилен	C ₂ H ₄	28,05	43,1
23	Етан	C ₂ H ₆	30,069	44,3
24	Пропан	C ₃ H ₈	44,096	73,60
25	Бутан	C ₄ H ₁₀	58,122	98,49