

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплотехніки**

**КРЕСЛЕННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

на тему:

**Оптимізація мереж теплопостачання шляхом мінімізації
відношення витрат первинної енергії до сумарної
встановленої потужності споживачів**

Заєць Ілля Андрійович

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплотехніки**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Михайло КИРИЧЕНКО
« ___ » _____ 2025 року

**КРЕСЛЕННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

**Оптимізація мереж теплопостачання шляхом мінімізації
відношення витрат первинної енергії до сумарної
встановленої потужності споживачів**

Я як здобувач вищої освіти КНУБА розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував незгодувану допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач Заєць Ілля Андрійович
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
ОПП «Теплогазопостачання і вентиляція»
Група ТВм-24-1
Керівник: **Погосов. О.Г**
доцент, кандидат технічних наук

Рецензент

Ідентичність підтверджую

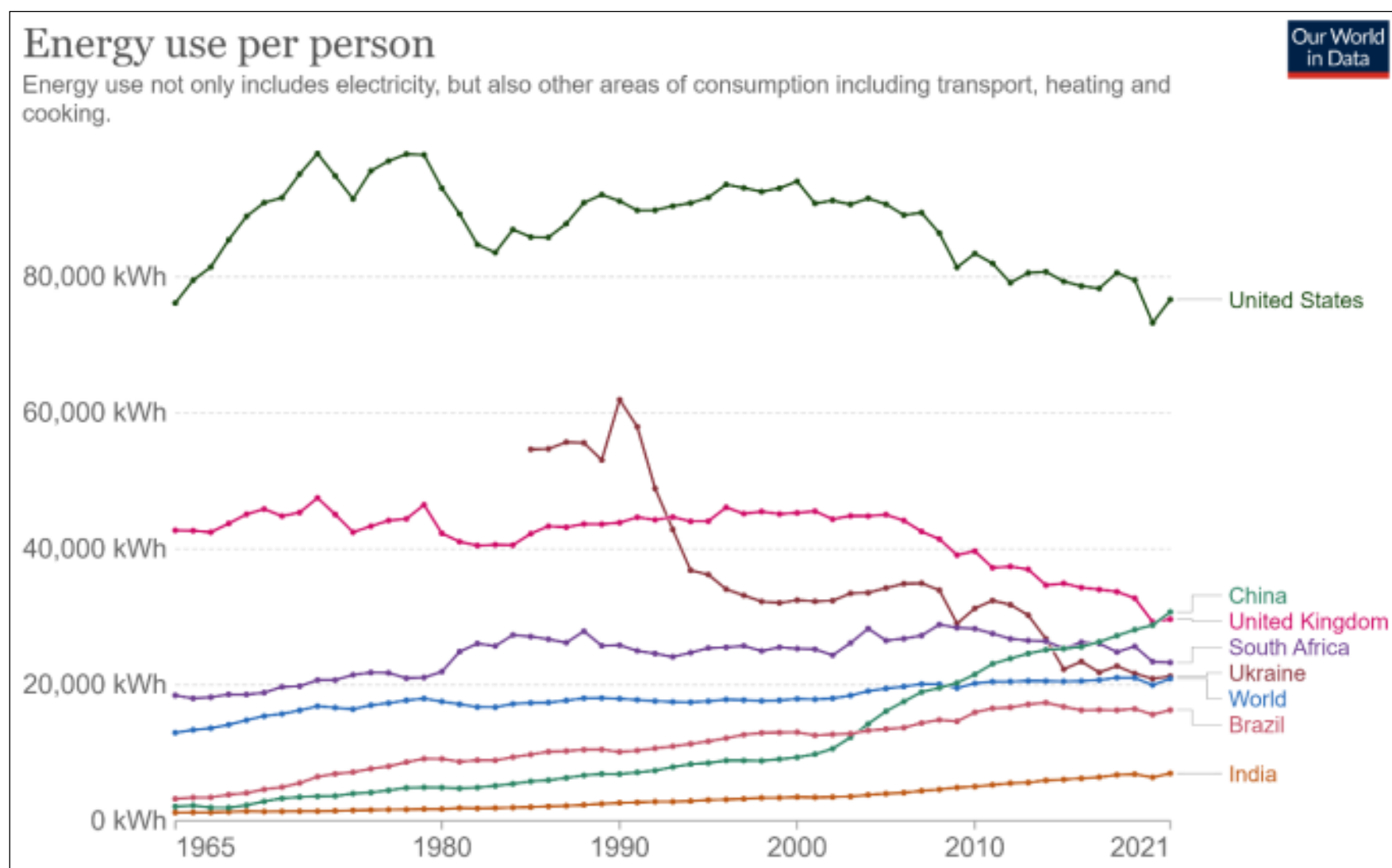


Рис. 1.1. Ретроспектива сумарного споживання первинної енергії за всіма видами палива в розрізі країн світу, кВт*год/люд [5]

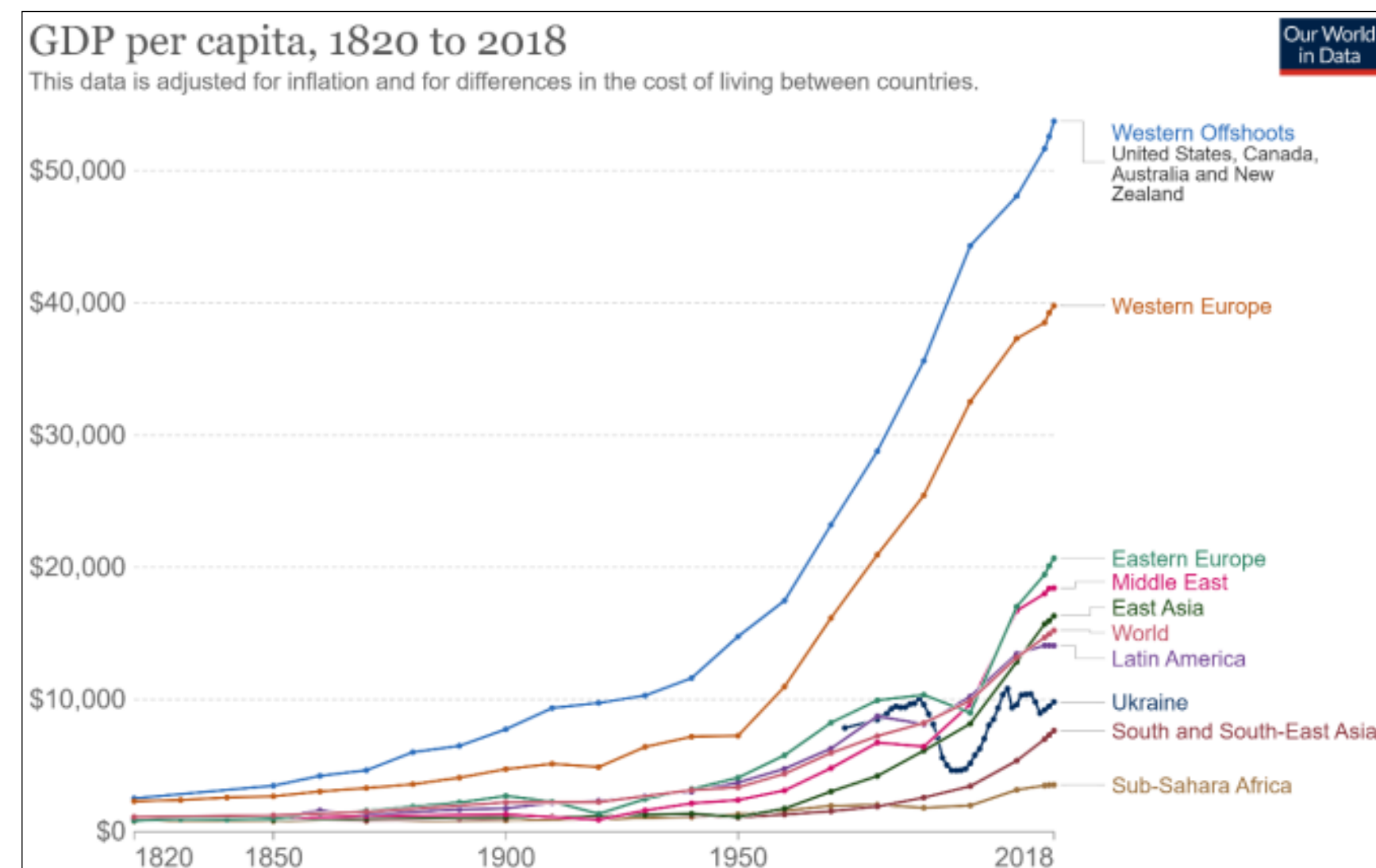


Рис. 1.2. Ретроспектива зміни показника внутрішнього валового продукту в розрізі країн світу, \$/люд [5]

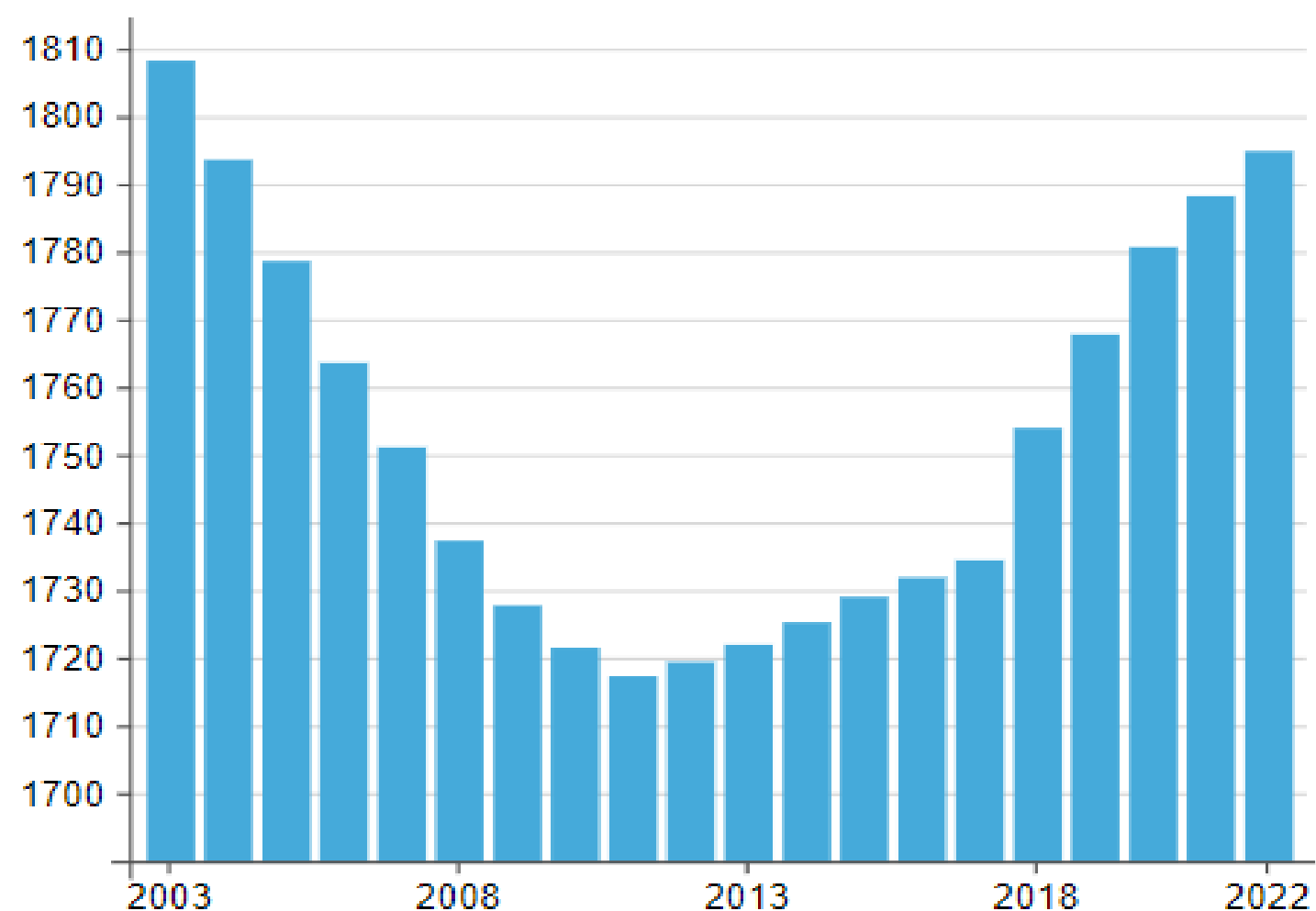


Рис. 1.3. Відношення питомого споживання енергії до показника внутрішнього валового продукту, кВт*год/\$

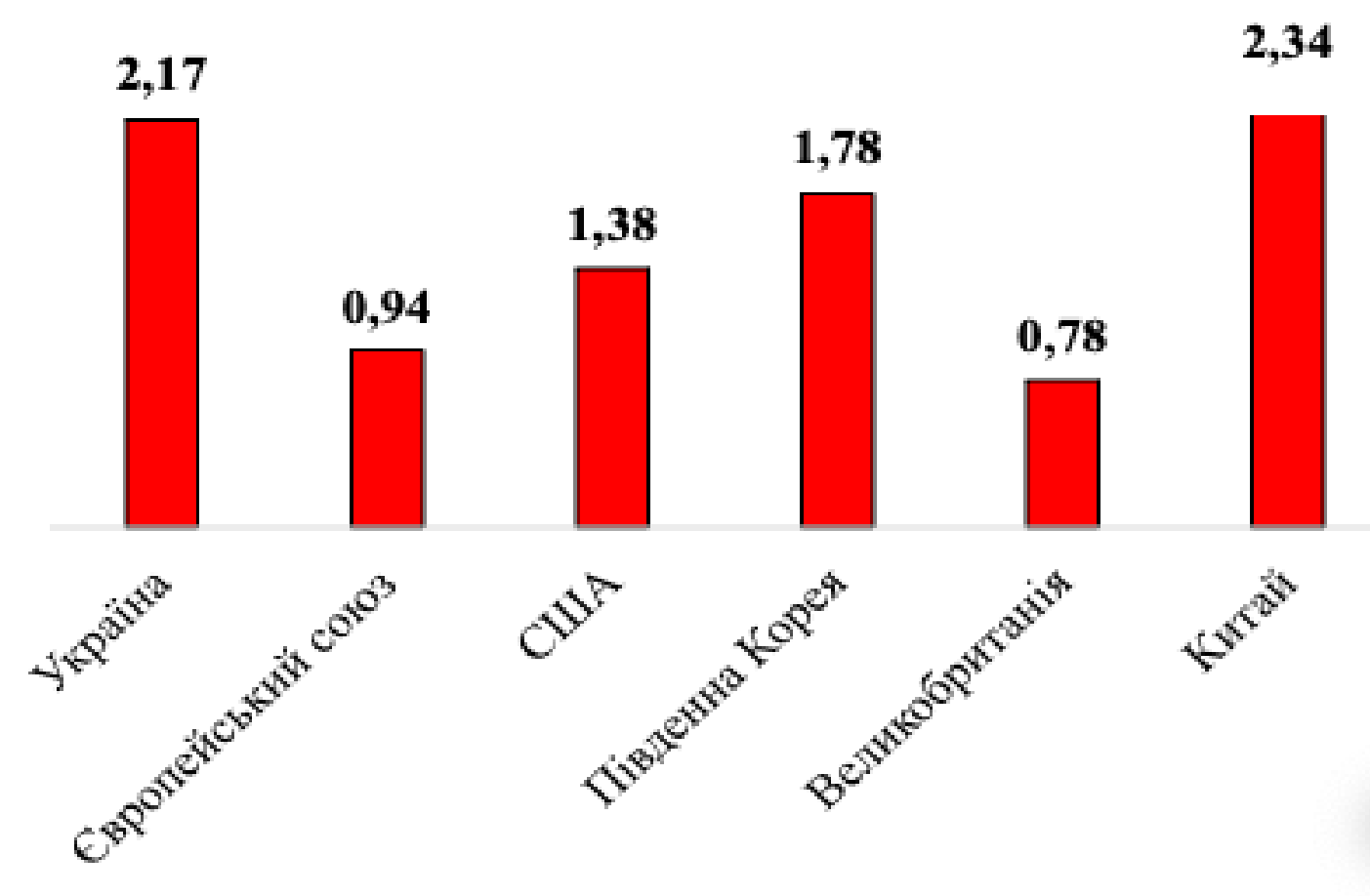


Рис. 1.4. Відношення питомого споживання енергії до показника внутрішнього валового продукту, кВт*год/\$

Погоджено: _____
Зам. інж. № _____
Підпис/дата _____
Інв. №/оригіналу _____

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація мереж тепlopостачання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів					
Зм.	Кіл.	Арх.	№Док.	Підпис	Дата
Розробив	Заєць І.А.				
Керівник	Погосов О.Г.				
Аналіз та шляхи розвитку українського законодавства в сфері вимог до енергоефективності будівель				Стан	Архив
				КР	1
					9
Рис. 1.1. Ретроспектива сумарного споживання первинної енергії; Рис. 1.2. Ретроспектива зміни показника внутрішнього валового продукту; Рис. 1.3. Відношення питомого споживання енергії;					
КНУБА, ТВМ-24-1					

Графіки демонструють, що апроксимації точніші при високому Re, з перевагою Фенга та Бркіча (середня відносна похибка <0.2%).

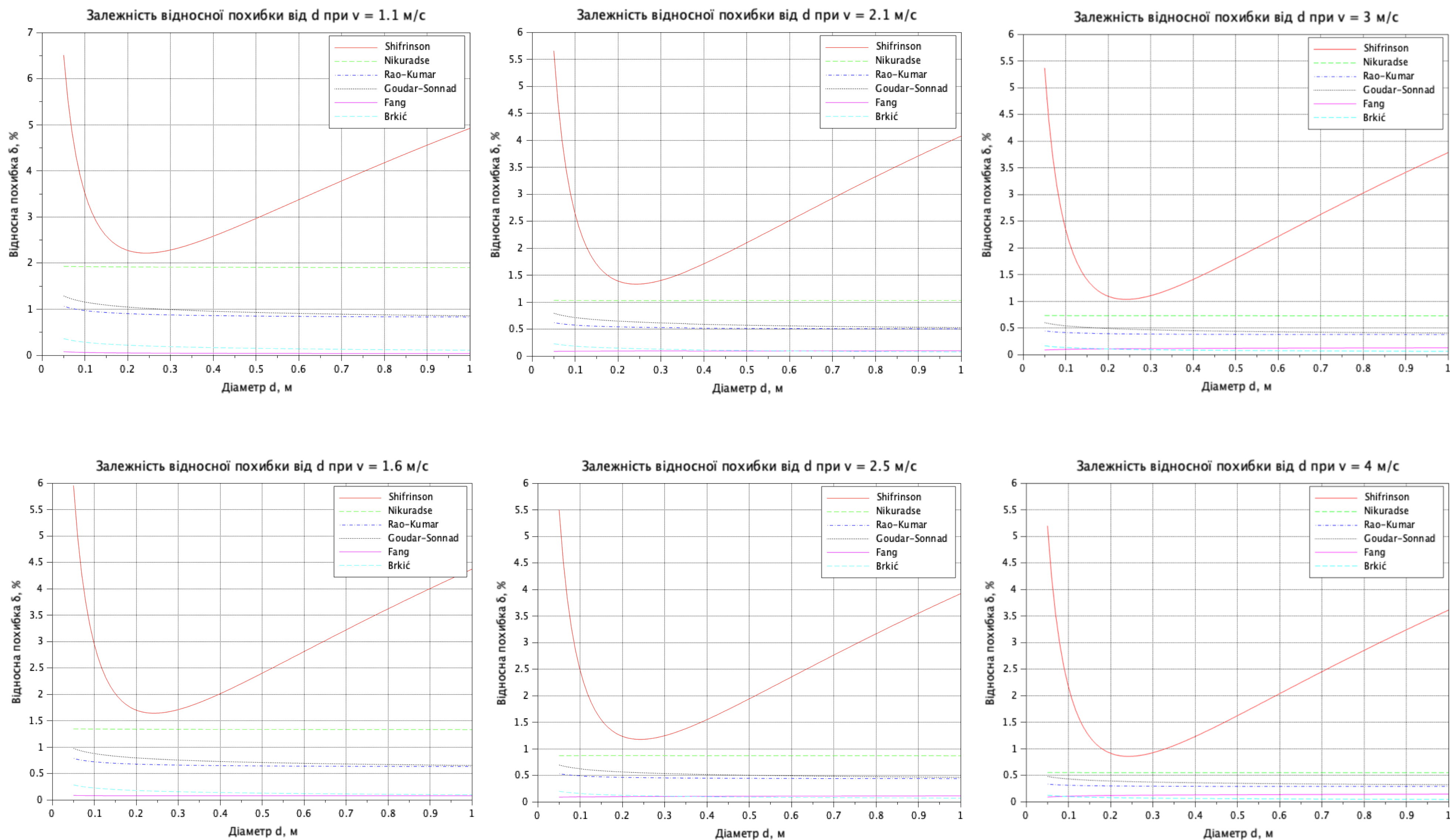


Рисунок 3.1. Залежність відносної похибки від діаметру для деяких швидкостей

						Кваліфікаційна робота		
						Оптимізація мереж теплоснабчання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів		
Зм.	Кіл.	Арк.	№Док	Підпис	Дата	Постановка задачі оптимізації та математична модель		
Розробив		Заець І.А.				Сторінка	Архів	Архів
Керівник		Погосов О.Г.				КР	2	
						Рисунок 3.1. Залежність відносної похибки від діаметру для деяких		
						КНУБА, ТВМ-24-1		

Погоджено:
Зам. інв. №
Підпис/дата
Іна Неоригіналу

ФУНКЦІЇ-РІВНЯННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Для задачі визначення оптимальних діаметрів і швидкостей у тепловій мережі цільову функцію можна подати у вигляді залежності, яка за суттю узгоджується з формулюванням цільової функції:

$$PE_{DH} = PE_{pump} + PE_{heatloss} + PE_{fuel},$$

Первинна енергія, пов'язана з витратою електричної енергії на роботу двигуна насоса централізованої системи теплопостачання можуть бути представлені наступним чином:

$$PE_{pump} = FC_{pump} \cdot PEF_{el},$$

де FC_{pump} – витрата електричної енергії на роботу двигуна насоса, кВт*год;
 PEF_{el} – коефіцієнт первинної енергії, пов'язаний зі спалюванням палива для виробництва електричної енергії, безрозмірний.

В дослідженні прийнято розрахунковий час роботи системи на рівні 1 години. При цьому витрата електричної енергії може бути розрахована згідно відомої залежності:

$$FC_{pump} = \frac{G \cdot \Delta P}{\eta} \cdot \tau \cdot 10^{-3},$$

де G – витрата теплоносія, м³/с; ΔP – втрата тиску на розрахунковій ділянці, Па; η – ККД насосу (включно з ефективністю всіх його елементів), %; τ – час роботи системи (припущенням є постійність витрати теплоносія протягом часу τ , або ж робота системи в діапазоні з якісним регулюванням відпуску теплової енергії), год.

Витрата теплоносія може бути визначена згідно залежності:

$$G = S \cdot v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v,$$

де S – площа перерізу трубопроводу, м; d – діаметр трубопроводу системи теплопостачання на ділянці, м; v – швидкість руху теплоносія на ділянці, м/с.

Враховуючи загально відомий вираз для визначення коефіцієнту втрат на тертя в закону Ньютона-Ріхмана [Error! Reference source not found.] отримаємо залежності від коефіцієнту Дарсі, довжини ділянки і її діаметру, отримаємо вираз для визначення витрати енергії насосом:

$$FC_{pump} = \frac{\lambda \cdot L \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \pi \cdot d^2}{\eta} \cdot \tau \cdot 10^{-3} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot L \cdot \rho}{8 \cdot \eta} \cdot d \cdot v^3 \cdot \tau \cdot 10^{-3},$$

де λ – безрозмірний коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі); d – діаметр трубопроводу, м; L – довжина ділянки трубопроводу, м.

Тоді викиди парникових газів можуть бути визначені наступним чином:

$$PE_{pump} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot L \cdot \rho}{8 \cdot \eta} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot PEF_{el} \cdot d \cdot v^3,$$

Визначення безрозмірний коефіцієнт гідравлічного тертя проводиться в цій роботі на підставі залежності Альтшуля в третій гідравлічній області.

$$\lambda = 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta_E}{d}\right)^{0.25}$$

де Δ_E – еквівалента абсолютна шорсткість (приймається на рівні 0.3 мм), мм середньорічною температурою ґрунту +5 °С на глибині закладання трубопроводів

Число Рейнольдса визначається класичною залежністю:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu},$$

де ν – кінематична в'язкість теплоносія, приймається на рівні 0.413 (при температурі 70 °С), м²/с.

Таким чином залежність варто замінити наступною:

$$PE_{pump} = \frac{0.11 \cdot \pi \cdot L \cdot \rho}{8 \cdot \eta} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot PEF_{el} \cdot d \cdot v^3 \cdot \left(\frac{\Delta_E}{d}\right)^{0.25},$$

$$PE_{pump} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot PEF_{el} \cdot v^3 \cdot d^{0.75}.$$

Для фізичної моделі, поданої вище формула може бути трансформована наступним чином:

$$PE_{heatloss} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{loss} \cdot PEF_{fuel} \cdot \tau,$$

де Q_{loss} – втрати теплової енергії через поверхню трубопроводу, кВт.

З урахуванням втрат теплової енергії через поверхню трубопроводу згідно

$$E_{CO_2eq,heatloss} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha \cdot \pi \cdot d_{ins} \cdot L \cdot (t_{c.t.} - t_{зов.}) \cdot 10^{-3} \cdot PEF_{fuel} \cdot \tau, \quad 1.)$$

де α – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К; $t_{c.t.}$ – середня температура середовища, К; $t_{зов.}$ – зовнішня температура, К; d_{ins} – зовнішній діаметр теплової ізоляції, м.

Тому замість отриманої залежності застосуємо підхід через нормативні втрати теплової енергії:

$$PE_{heatloss} = q_{spec} \cdot L \cdot PEF_{fuel} \cdot \tau,$$

де q_{spec} – нормативний питомий тепловий потік, Вт/м.

Для можливості представлення нормативного теплового потоку через діаметр трубопроводу, проаналізуємо питомі показники густини теплового потоку через ізольовану поверхню трубопроводів при двотрубному підземному безканальному прокладанні та при прокладанні в непрохідних каналах з розрахунковою та отримаємо штучну наближену формулу для розрахунку нормативного теплового потоку:

$$q_{spec} = 348 \cdot d^{0.5},$$

Тоді остаточно залежність для визначення викидів буде такою:

$$PE_{heatloss} = 348 \cdot 10^{-3} \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot PEF_{fuel} \cdot \tau,$$

Викиди парникових газів, пов'язані з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи теплопостачання можуть бути розраховані згідно залежності:

$$PE_{fuel} = FC_{fuel} \cdot PEF_{fuel},$$

де FC_{fuel} – витрата палива, ТДж;
 PEF_{fuel} – коефіцієнт первинної енергії, пов'язаний з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи теплопостачання, безрозмірний.

Для фізичної моделі, поданої вище залежність може бути трансформована (0.) наступним чином:

$$PE_{CO_2eq,fuel} = Q_1 \cdot \tau \cdot PEF_{fuel},$$

де Q_1 – вхідна тепла потужність системи, кВт;

τ – значення періоду роботи системи теплопостачання, в даному

Кваліфікаційна робота						
Оптимізація мереж теплопостачання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів						
Зм.	Кіл.	Арк.	№Док	Підпис	Дата	
						Практичні розрахунки та приклад практичного використання
Розробив	Заець І.А.					КР 3
Керівник	Погосов О.Г.					ФУНКЦІЇ-РІВНЯННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ
						КНУБА, ТВМ-24-1

РІВНЯННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ

Викиди парникових газів, пов’язані з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання можуть бути розраховані згідно залежності [Error! Reference source not found.]:

$$PE_{fuel} = FC_{fuel} \cdot PEF_{fuel},$$

де FC_{fuel} – витрата палива, ТДж;

PEF_{fuel} – коефіцієнт первинної енергії, пов’язаний з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання, безрозмірний.

Для фізичної моделі, поданої вище залежність може бути трансформована наступним чином:

$$PE_{CO_2eq,fuel} = Q_1 \cdot \tau \cdot PEF_{fuel},$$

де Q_1 – вхідна теплова потужність системи, кВт;

τ – значення періоду роботи системи тепlopостачання, в дан

З урахуванням втрат теплової енергії на ділянці із залежності отримаємо:

$$PE_{fuel} = (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3}) \cdot \tau \cdot PEF_{fuel},$$

де Q_2 – кінцева (вихідна) теплова потужність системи, кВт; d – діаметр трубопроводу,

м.

Враховуючи залежності, викладені в цьому розділі вище, маємо зведену цільову функцію наступного вигляду:

$$PE_{DH} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot PEF_{el} \cdot v^3 \cdot d^{0.75} + 348 \cdot 10^{-3} \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot PEF_{fuel} \cdot \tau + (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3}) \cdot \tau \cdot PEF_{fuel},$$

Приведемо залежність до функціонального вигляду:

$$PE_{CO_2eq,DH}(d, v) = \left(\frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot PEF_{el} \right) \cdot v^3 \cdot d^{0.75} + (348 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot PEF_{fuel} \cdot \tau) \cdot d^{0.5} + (\tau \cdot PEF_{fuel}) \cdot (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3}),$$

Для спрощення вигляду функції проведемо заміну:

$$K1 = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot PEF_{el}.$$

$$K2 = 348 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot PEF_{fuel} \cdot \tau$$

$$K3 = \tau \cdot PEF_{fuel}$$

Спрощена функція має наступний вигляд:

$$PE_{DH} = K1 \cdot v^3 \cdot d^{0.75} + K2 \cdot d^{0.5} + K3 \cdot (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3})$$

$$PE_{DH} = K1 \cdot v^3 \cdot d^{0.75} + K2 \cdot d^{0.5} + K3 \cdot (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3})$$

Враховуючи, що потужність може бути визначена згідно залежності:

$$Q_2 = G \cdot c \cdot (T_2 - T_1),$$

$$Q_2 = G \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = G_{vol} \cdot \rho \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = \frac{\rho \cdot v \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot c \cdot (T_2 - T_1),$$

де G – масова витрата теплоносія, $\frac{кг}{с}$, c – теплоємність теплоносія, $кДж/кг^{\circ}C$, T_2 і T_1

– температура в подавальному і зворотному трубопроводах, $^{\circ}C$,

Маємо обмеження цільової функції:

$$\begin{cases} d > 0, \\ v > 0, \\ d^2 \cdot v \geq \frac{4 \cdot Q_2}{\pi \cdot c \cdot (T_1 - T_2) \cdot \rho} \end{cases},$$

Погоджено:
Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № оригіналу

Кваліфікаційна робота						
Оптимізація мереж тепlopостачання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів						
Зм.	Кіл.	Арк.	№Док	Підпис	Дата	
Практичні розрахунки та приклад практичного використання				Страна	Архив	Архив
Розробив Керівник				Заець І.А. Погосов О.Г.	КР	4
ФУНКЦІЙ-РІВНЯННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ				КНУБА, ТВМ-24-1		

Таблиця 0.1. Коефіцієнти (фактори) первинної енергії [Error! Reference source not found.]

№	Енергоносії	Тип	fP (невідновлюван а частина)	fP (відновлювана частина)
1	Горючі корисні копалини	Тверді	1,1	-
2	Горючі корисні копалини	Скраплені	1,1	-
3	Горючі корисні копалини	Газоподібні	1,1	-
4	Біологічне паливо	Тверде	0,2	0,9
5	Біологічне паливо	Скраплене	0,5	0,6
6	Біологічне паливо	Газоподібне	1,1	-
7	Електрична енергія	Централізована	2,3	-
8	Електрична енергія	Централізоване опалення	1,3	-
9	Електрична енергія	Централізоване охолодження	1,3	-
10	Вироблений на місці	Сонячна термічна	0	0
11	Вироблений на місці	Вітрова	0	0
12	Вироблений на місці	Природна (Гео-, аеро-, гідротермальна)	0	0
13	Експортований	Електрична (ніколи не перероблена)	2,3	-
14	Експортований	Електрична (тимчасово експортована та перероблена пізніше)	2,3	-

Таблиця 5.2. Коефіцієнти (фактори) первинної енергії загальної енергетики [Error! Reference source not found.,
Error! Reference source not found.]

Паливо (в дужках вказана назва англійською мовою як у джерелі)	Фактор первинної енергії fP (Невідновлювана)	Фактор первинної енергії fP (Загальний)
Мазут (Fuel oil)	1.35	1.35
Газ (Gas)	1.36	1.36
Антрацит (Anthracite)	1.19	1.19
Буре вугілля (Lignite)	1.40	1.40
Кокс (Coke)	1.53	1.53
Деревна стружка (Wood shavings)	0.06	1.06
Поліна (Log)	0.09	1.09
Поліна букові (Beech log)	0.07	1.07
Поліна соснові (Fir log)	0.10	1.10
Електроенергія з гідроелектростанції (Electricity from hydraulic power plant)	0.50	1.50
Електроенергія з атомної електростанції (Electricity from nuclear power plant)	2.80	2.80
Електроенергія з вугільної електростанції (Electricity from coal power plant)	4.05	4.05
Електроенергія Mix UCРTE (Electricity Mix UCРTE)	3.14	3.31

Далі будуть застосовані наступні коефіцієнти (фактори первинної енергії): для електричної енергії (в контексті роботи циркуляційного насосу) – національний 2,3; для теплової енергії – національний 1,1.

В програмному середовищі SciLab 2025.1.0 було розроблено програмний код (наведено в додатках 4 і 5) для чисельного моделювання витрати первинної енергії ділянки теплової мережі.

Кваліфікаційна робота						
Оптимізація мереж тепlopостачання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів						
Зм.	Кіл.	Арк.	№Док	Підпис	Дата	
Розробив	Заець І.А.					Практичні розрахунки та приклад практичного використання
Керівник	Погосов О.Г.					Таблиця 5.1. Коефіцієнти (фактори) первинної енергії; Таблиця 5.2. Коефіцієнти (фактори) первинної енергії загальної енергетики.
						КР 5
						КНУБА, ТВМ-24-1

5.5. Програмна реалізація комп'ютерного моделювання витрати первинної енергії на ділянці теплової мережі.

```
clear; clc;
// Введення параметрів користувачем
Q2 = input("Введіть потужність приєднаного абонента (Q2, кВт): ");
T1 = input("Введіть температуру подавального трубопроводу (T1, °C): ");
T2 = input("Введіть температуру зворотнього трубопроводу (T2, °C): ");
// Константи
dE = 0.0003; // шорсткість, м
tau = 1; // час, година
eta = 0.95; // ККД
rho = 1000; // густина теплоносія, кг/м3
PEFel = 2.3;
PEFfuel = 1.1;
L = 1000;
T = 438000;
// Розрахунок коефіцієнтів
K1 = ((%pi * L * rho) / (72.7 * eta)) * (dE^0.25) * 10^(-3) * PEFel * tau;
K2 = 348 * 10^(-3) * L * PEFfuel * tau;
K3 = PEFfuel * tau;
disp(K1);
disp(K2);
disp(K3);
// Діапазон діаметрів і швидкостей
d_vals = -0.5:0.0125:0.5; // м (81 значення)
v_vals = -10:0.125:10; // м/с (161 значення)
// Створюємо сітку
[DD, VV] = meshgrid(d_vals, v_vals);
// Перевірка розмірів сітки
disp("Розмір DD: "); disp(size(DD)); // 161x81
disp("Розмір VV: "); disp(size(VV)); // 161x81
// Створюємо матрицю значень функції E
E = K1 * (DD.^0.75 .* VV.^3) + K2 * DD.^0.5 + K3 * (Q2 + 348 * DD.^0.5 * L * 10^(-3));
// Перевірка розміру E
disp("Розмір E: "); disp(size(E)); // 161x81
// Розрахунок порогового значення
threshold = 4 * Q2 / (%pi * 4.186 * (T1 - T2) * rho);
disp("Threshold: "); disp(threshold);
// Створюємо матрицю кольорів розміром 161x81
colors = ones(length(v_vals), length(d_vals)); // 161x81
for i = 1:length(v_vals)
```

```
for j = 1:length(d_vals)
D = DD(i,j);
V = VV(i,j);
if D >= 0 & V >= 0
if (D^2) * V > threshold
colors(i,j) = 3; // Червоний
else
colors(i,j) = 2; // Зелений
end
else
colors(i,j) = 1; // Білий
end
end
end
// Перевірка розміру colors
disp("Розмір colors: "); disp(size(colors)); // 161x81
// Побудова поверхні
clf();
surf(d_vals, v_vals, E, colors);
// Налаштування колірної карти
colormap([1, 1, 1; 0, 1, 0; 1, 0, 0]); // Білий, зелений, червоний
// Налаштування назв вісей і графіку
xlabel('Діаметр трубопроводу, d, м');
ylabel('Швидкість теплоносія, v, м/с');
zlabel('Приведена енергія, ГДж');
title('Функція сумарної приведенної енергії при постачанні теплової енергії ЦТ');
// Знаходження мінімального E у червоній зоні
red_zone_mask = (DD.^2 .* VV > threshold) & (DD >= 0) & (VV >= 0);
E_red_zone = E(red_zone_mask);
if ~isempty(E_red_zone)
[min_E, idx] = min(E_red_zone);
D_min = DD(red_zone_mask)(idx);
V_min = VV(red_zone_mask)(idx);
disp("Мінімальне E у червоній зоні: "); disp(min_E);
disp("Відповідне D: "); disp(D_min);
disp("Відповідне V: "); disp(V_min);
else
disp("Червона зона порожня! Жодна точка не відповідає умові (D^2)*V > threshold, D >= 0, V >= 0.");
end
```

Для створення програмного коду був задіяний парограмний комплекс artificial intelligence (AI) "GROK"



Погоджено: _____
Зам. інв. № _____
Підпис/дата _____
Інв. № оригіналу _____

Кваліфікаційна робота						
Оптимізація мереж тепlopостачання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів						
Зм.	Кіл.	Арк.	№Док	Підпис	Дата	
						Практичні розрахунки та приклад практичного використання
Розробив		Заєць І.А.				КР 6
Керівник		Погосов О.Г.				5.5. Програмна реалізація комп'ютерного моделювання витрати первинної енергії на ділянці теплової
						КНУБА, ТВМ-24-1

5.6. Програмна реалізація комп'ютерного моделювання витрати первинної енергії на ділянці теплової мережі (для побудови графіків зміни оптимальних значень).

```
clear; clc;

// Константи
dE = 0.0003; // шорсткість, м
tau = 1; // час, година
eta = 0.95; // ККД
rho = 1000; // густина теплоносія, кг/м3
rho_steel = 7800; // густина сталі, кг/м3
d_thickness = 0.007; // товщина стінки трубопроводу, м
PEFfel = 2.3;
PEFfuel = 1.1;
L = 1000;
T = 438000;

// Розрахунок коефіцієнтів
K1 = ((%pi * L * rho) / (72.7 * eta)) * (dE^0.25) * 10^(-3) * PEFfel * tau;
K2 = 348 * 10^(-3) * L * PEFfuel * tau;
K3 = PEFfuel * tau;

// Діапазон діаметрів і швидкостей
d_vals = -0.5:0.0125:0.5; // м (81 значення)
v_vals = -10:0.125:10; // м/с (161 значення)

// Створюємо сітку
[DD, VV] = meshgrid(d_vals, v_vals);

// Діапазон потужностей (кВт), крок 2000 кВт
Q2_range = 1000:1000:40000;

// Режими температур
regimes = list([90,70], [130,70]);

// Ініціалізація масивів для оптимальних значень
D_opt = zeros(length(Q2_range), length(regimes));
V_opt = zeros(length(Q2_range), length(regimes));

// Цикл по режимам
for r = 1:length(regimes)
    T1 = regimes(r)(1);
    T2 = regimes(r)(2);

    // Цикл по потужностям
    for q = 1:length(Q2_range)
        Q2 = Q2_range(q);

        // Розрахунок порогового значення
        threshold = 4 * Q2 / (%pi * 4.186 * (T1 - T2) * rho);

        // Розрахунок матриці E
        E = K1 * (DD.^0.75 .* VV.^3) + K2 * DD.^0.5 + K3 * (Q2 + 348 * DD.^0.5 * L * 10^(-3));
```

```
// Маска червоної зони
red_zone_mask = (DD.^2 .* VV > threshold) & (DD >= 0) & (VV >= 0);
E_red_zone = E(red_zone_mask);

if ~isempty(E_red_zone)
    [min_E, idx] = min(E_red_zone);
    D_opt(q, r) = DD(red_zone_mask)(idx);
    V_opt(q, r) = VV(red_zone_mask)(idx);
else
    D_opt(q, r) = %nan;
    V_opt(q, r) = %nan;
    disp("Для Q2 = " + string(Q2) + " кВт та режиму " + string(T1) + "/" + string(T2) + " червона зона порожня!");
end
end

// Побудова графіків
// Графік для діаметрів
clf();
figure(1);
plot(Q2_range/1000, D_opt(:,1), 'b-', Q2_range/1000, D_opt(:,2), 'r-');
f = gcf();
f.background = -2;
a = gca();
a.background = -2;
xlabel('Потужність Q2, МВт');
ylabel('Оптимальний діаметр D, м');
title('Оптимальний діаметр трубопроводу для різних режимів');
legend('90/70', '130/70');

// Графік для швидкостей
figure(2);
plot(Q2_range/1000, V_opt(:,1), 'b-', Q2_range/1000, V_opt(:,2), 'r-');
f = gcf();
f.background = -2;
a = gca();
a.background = -2;
xlabel('Потужність Q2, МВт');
ylabel('Оптимальна швидкість V, м/с');
title('Оптимальна швидкість теплоносія для різних режимів');
legend('90/70', '130/70');
```

Для створення графіків був задіяний парограмний комплекс "SCILAB"



Кваліфікаційна робота						
Оптимізація мереж тепlopостачання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів						
Зм.	Кіл.	Арк.	№Док	Підпис	Дата	
Практичні розрахунки та приклад практичного використання					Стор.	Арчи.
					КР	7
Розробив Керівник					5.6. Програмна реалізація комп'ютерного моделювання витрати первинної енергії на ділянці теплової мережі (для побудови	
					КНУБА, ТВм-24-1	

Погоджено:	
Зам. інв. №	
Підпис/дата	
Інв. №оригіналу	

Рисунок 0.1 Коливання оптимальної швидкості теплоносія для температурних режимів мережі 90/70 і 130/70 для потужності ділянки від 1000 до 40000 кВт

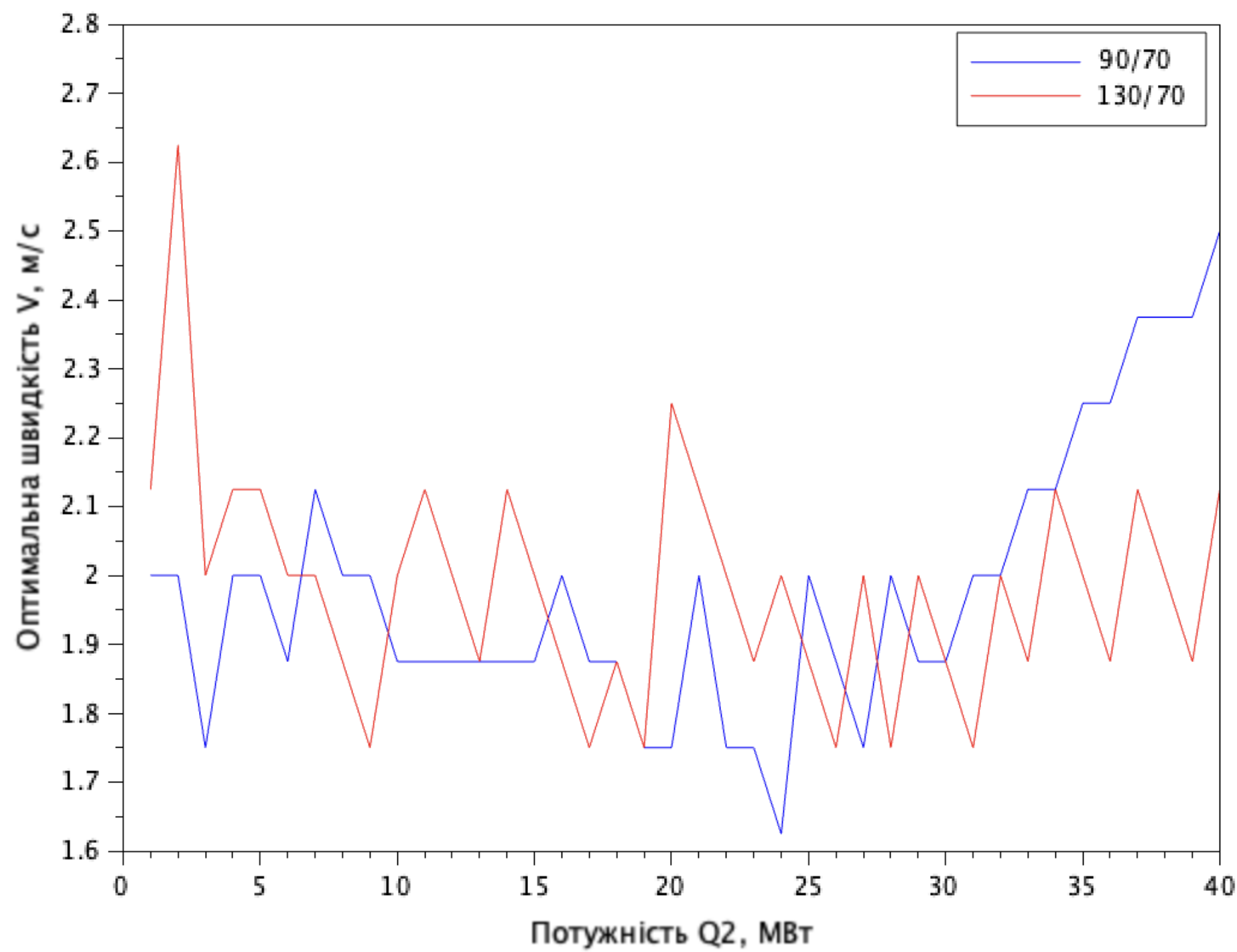
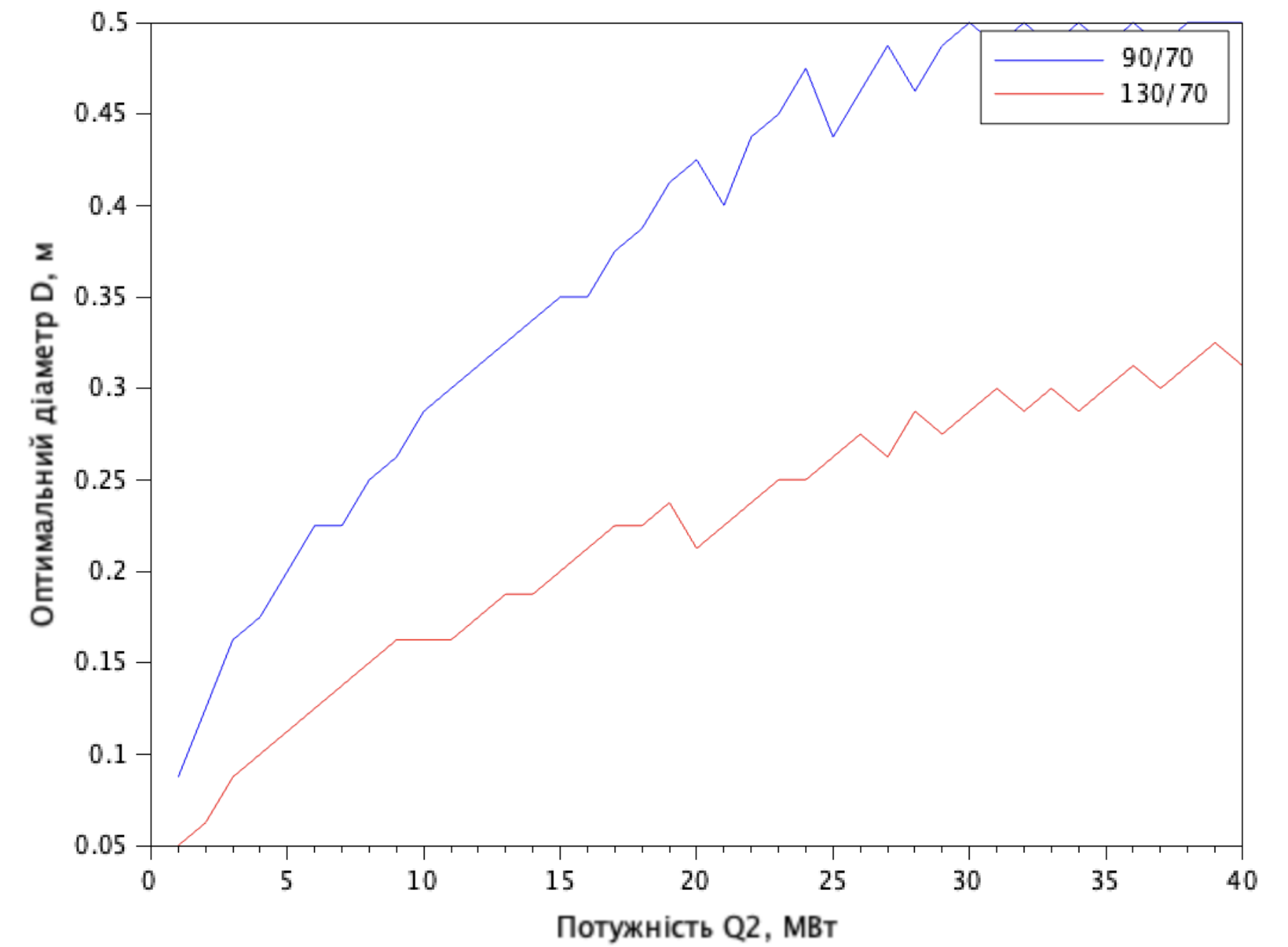


Рисунок 0.2 Значення оптимальних діаметрів для температурних режимів мережі 90/70 і 130/70 в діапазоні потужності ділянки від 1000 до 40000 кВт



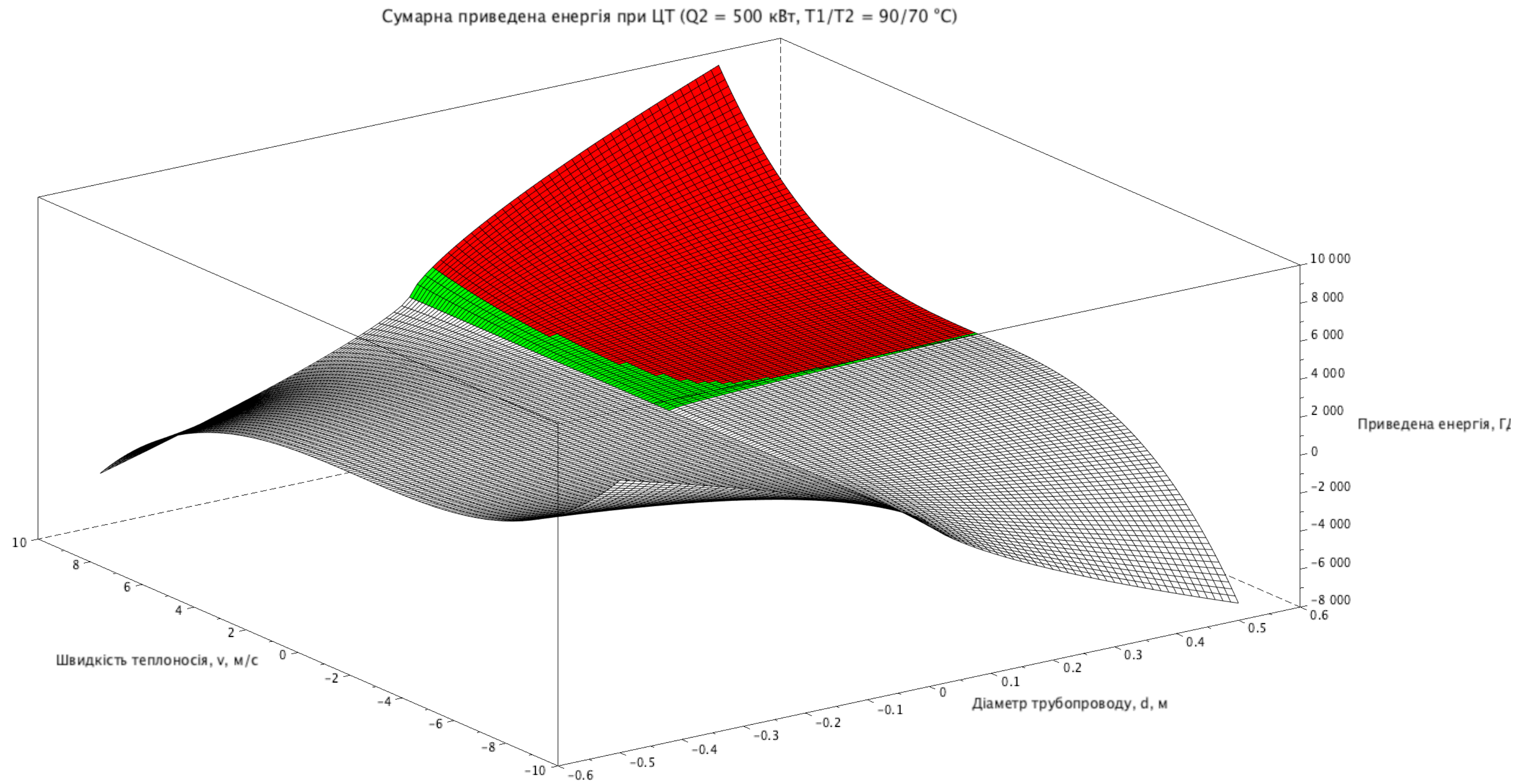
Потужність абонента, кВт	Оптимальне значення діаметру, мм	Оптимальне значення швидкості руху теплоносія, м/с	Величина первинної енергії, кВт*год
500	50	1.25	946
1000	87.5	2	1344
2000	160	3.4	2568

Таблиця 0.3. Характерні оптимальні значення діаметру і швидкості ділянки теплової мережі при різних значеннях потужності приєданого абонента

Кваліфікаційна робота						
Оптимізація мереж тепlopостачання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів						
Зм.	Кіл.	Арк.	№Док	Підпис	Дата	
Розробив Керівник					Засць І.А. Погосов О.Г.	Практичні розрахунки та приклад практичного використання
					Моделювання сумарної приведенної енергії при центральному тепlopостачанні мереж	КНУБА, ТВМ-24-1

Погоджено:
Зам. інв. №
Підпис/дата
Інв. Неоригіналу

Рис 3.6.1. Моделювання сумарної приведенної енергії при центральному теплопостачанні мереж з потужністю 500 кВт та температурами 90/70



Погоджено:
Зам. інв. №
Підписі дата
Інв. Неоригіналу

						Кваліфікаційна робота		
						Оптимізація мереж теплопостачання шляхом мінімізації відношення витрат первинної енергії до сумарної встановленої потужності споживачів		
Зм.	Кіл.	Арк.	№Док	Підпис	Дата	Практичні розрахунки та приклад практичного використання		
Розробив	Зець І.А.					Стор.	Архив	Архив
Керівник	Погосов О.Г.					КР	9	
						КНУБА, ТВМ-24-1		