

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

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

на тему:

**Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою
мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової
енергії**

Михайлишина Володимира Анатолійовича

Київ 2025 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Михайло КИРИЧЕНКО

«__» _____ 2025 року

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

**Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою
мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової
енергії**

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

**Здобувач Михайлишин Володимир
Анатолійович**

192 «Будівництво та цивільна
інженерія»

ОПП «Теплогазопостачання і
вентиляція»

Група ТВм-24-2

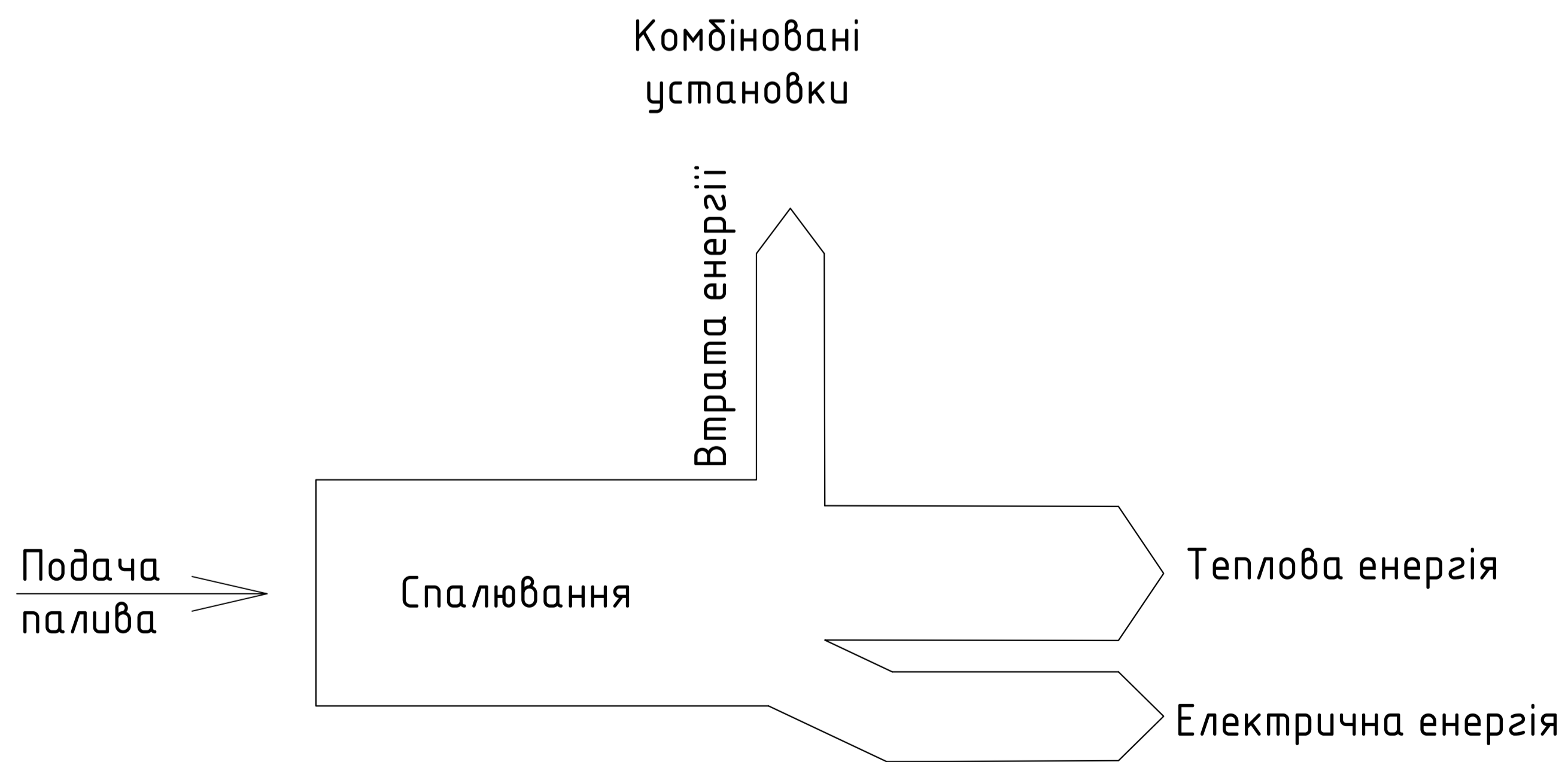
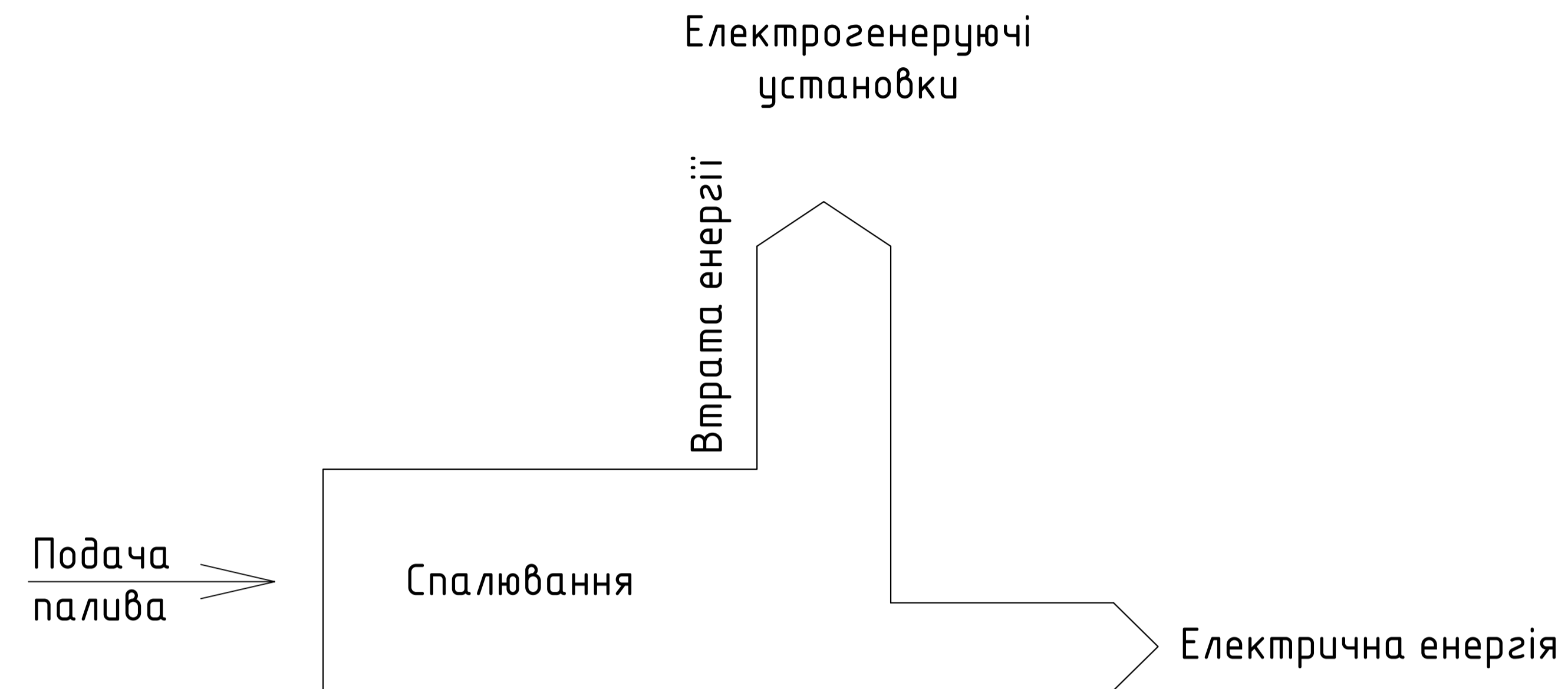
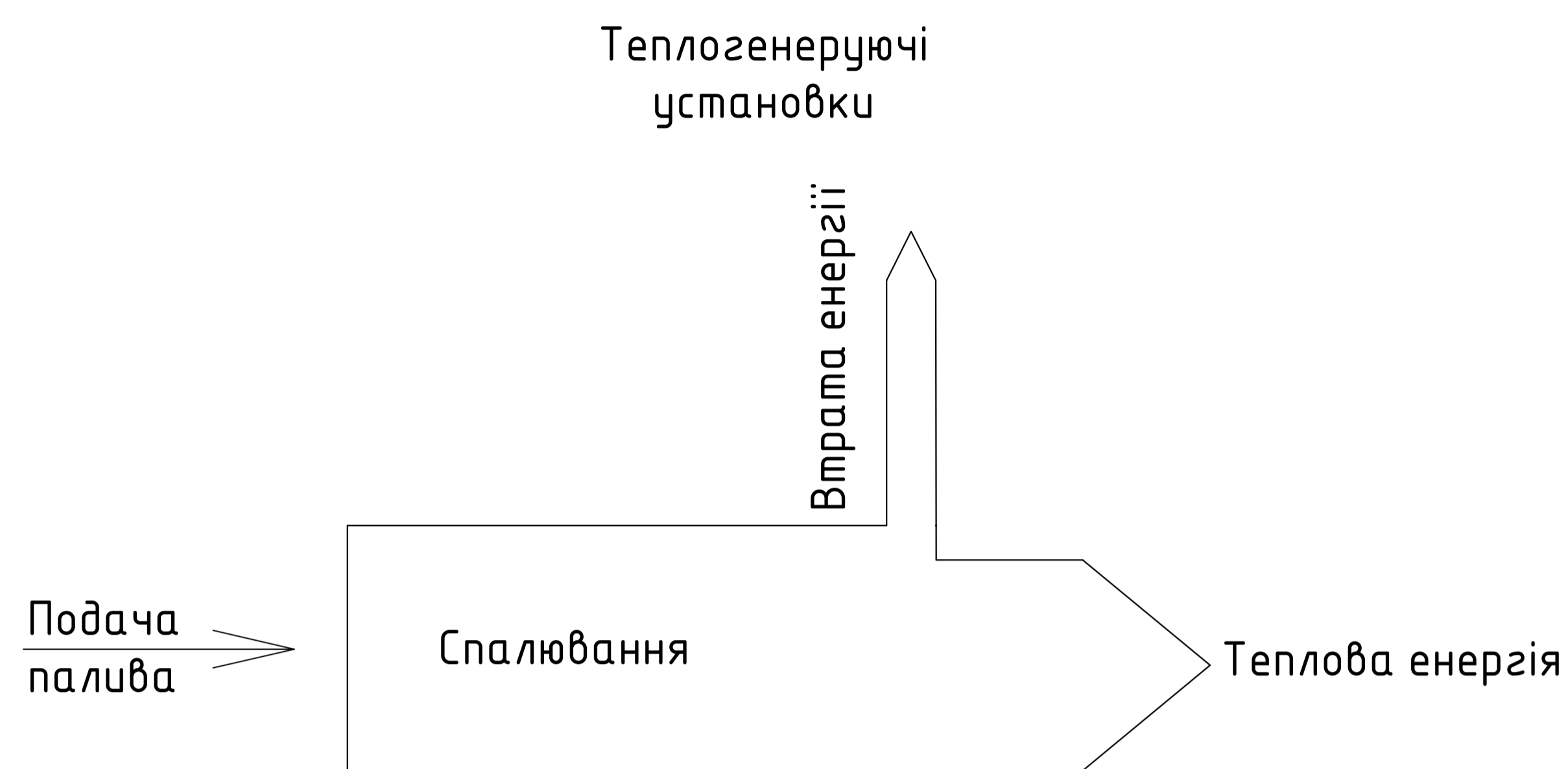
Керівник: Погосов О.Г.

доцент, кандидат технічних наук

Рецензент

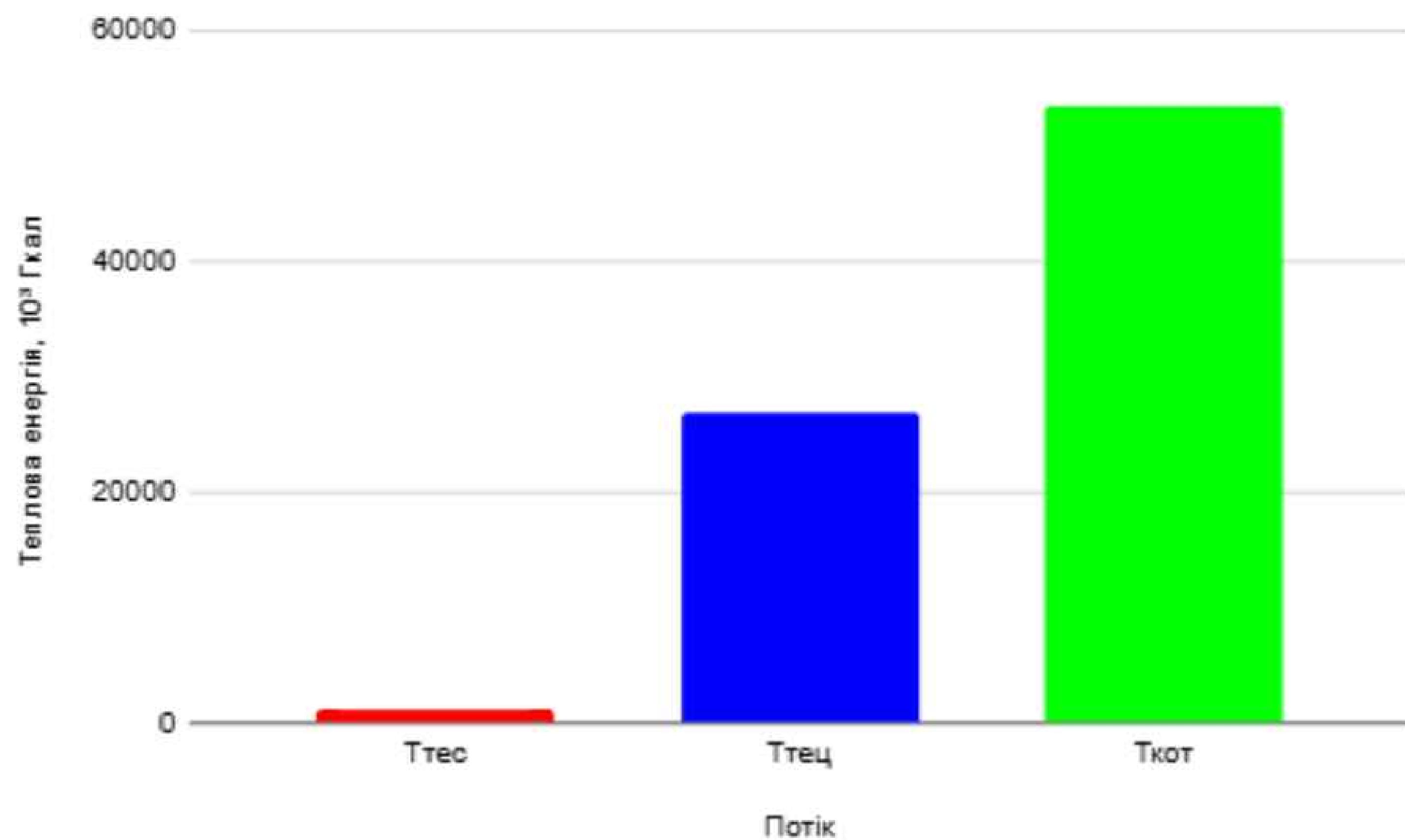
Ідентичність підтверджую

Київ 2025 р.

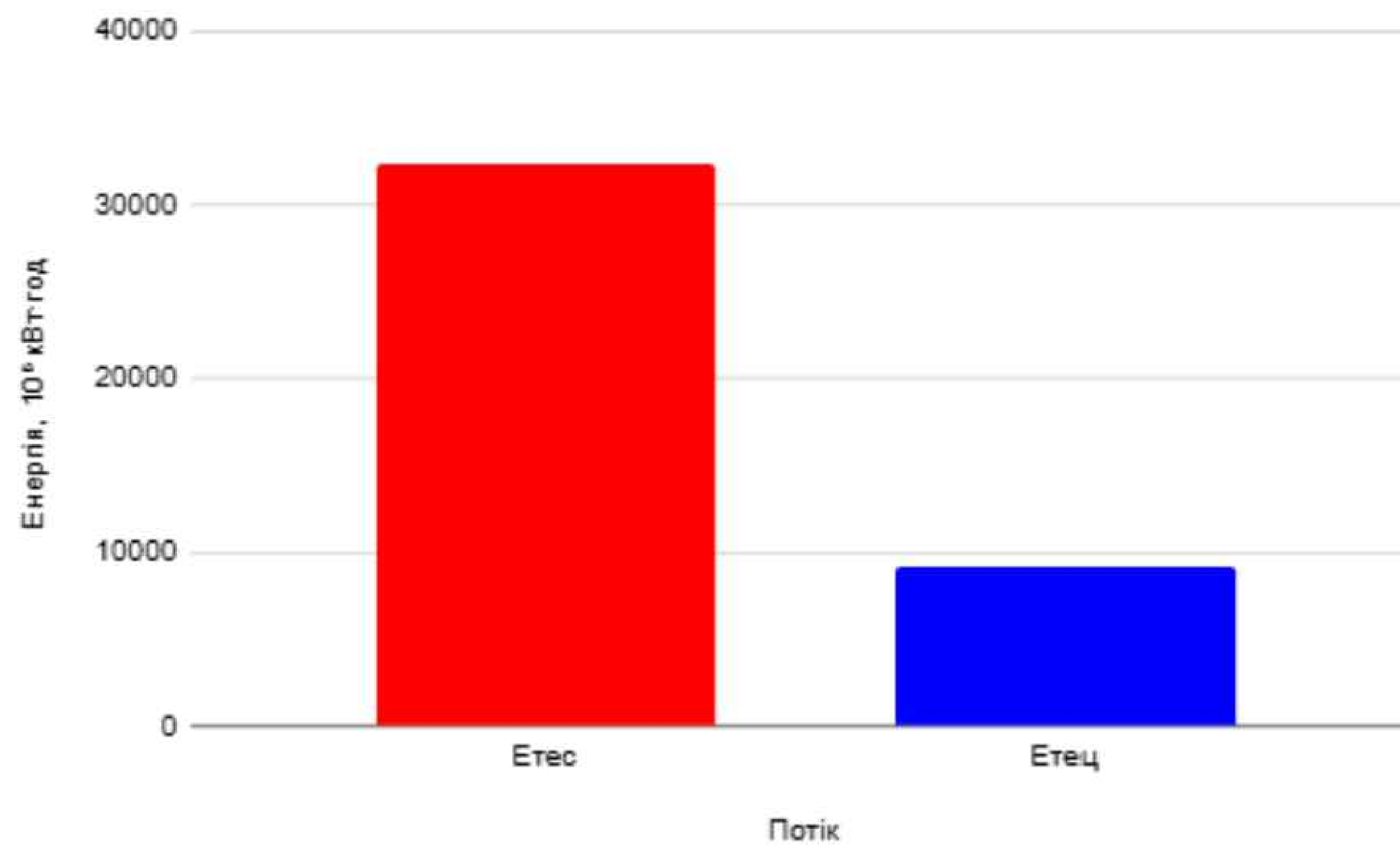


						Кваліфікаційна робота			
						Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис.	Дата				
Розроб.	Михайлишин					Екологічна оптимізація	Стадія	Лист	Листов
Керівник	Позосов О.Г.						КР	1	12
Заб. кафедри	Кириченко М.					Схема енергетичних потоків		КНУБА ТВн-24-2	

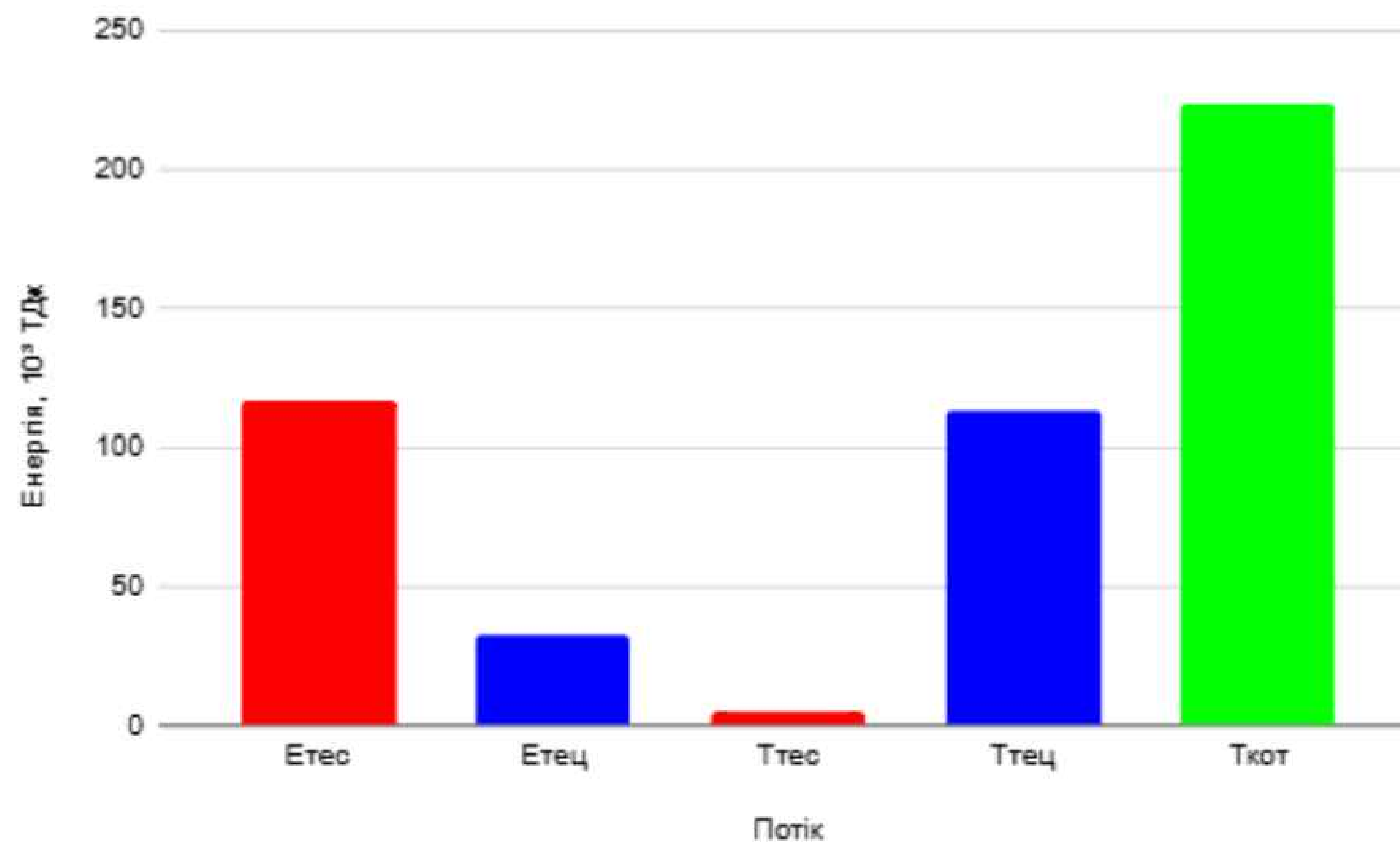
Розподілення теплових потоків у 2021 році Гкал



Розподілення енергетичних потоків у 2021 році кВт*год



Розподілення енергетичних потоків у 2021 році ТДж



Таблиця 1.2.2.5 Числова характеристика розподілення енергетичних потоків

	2021		
	кВт*год	Гкал	ТДж
E _{ТЕС}	32348·10 ⁶	-	116,4·10 ³
E _{ТЕЦ}	9162·10 ⁶	-	33·10 ³
T _{ТЕС}	-	1258·10 ³	5,3·10 ³
T _{ТЕЦ}	-	26889·10 ³	112,6·10 ³
T _{КОТ}	-	53441·10 ³	223,71·10 ³

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Арх.ц.	№ док.	Підпис.	Дата
Розроб.	Михайлишин				
Керівник	Позосов О.Г.				
Екологічна оптимізація				Стадія	Лист
				КР	2
Листов				12	
Числова характеристика розподілення енергетичних потоків					КНУБА ТВн-24-2
Доб. кафедри Кириченко М					

Таблиця 1.2.2.6 ККД, %

	η ТЕС	η ТЕЦ	η КОТ
Теплова енергія	не застосовується	85	80
Електрична енергія	30	не застосовується	-

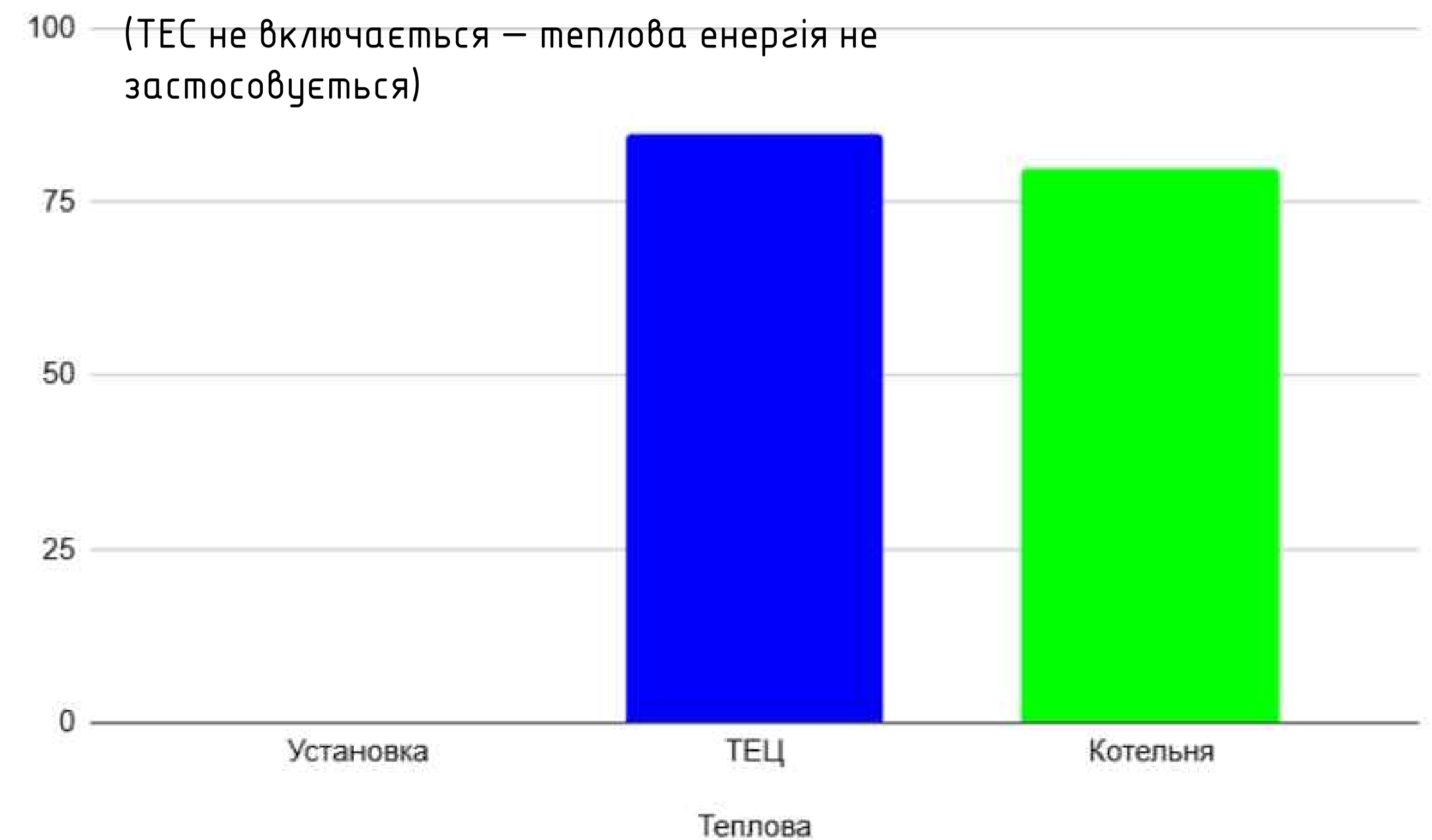
Таблиця 1.1.2.7 Прийняті значення питомих коефіцієнтів викидів парникових газів

	Отримане значення коефіцієнту
Теплова енергія та теплові втрати, (кгСО ₂ екв/Гкал) / (тСО ₂ екв/ТДж)	482 / 115
Електроенергія, кг СО ₂ екв/кВтгод - при виробництві тільки на ТЕС і ТЕЦ - національний перерахований показник (з урахуванням генерації АЕС, ГЕС, НВДЕ)	0,89 0,27
Мануфактура сталі, кг СО ₂ екв/т	1820
Перевезення, кг СО ₂ екв/тхкм	0,026

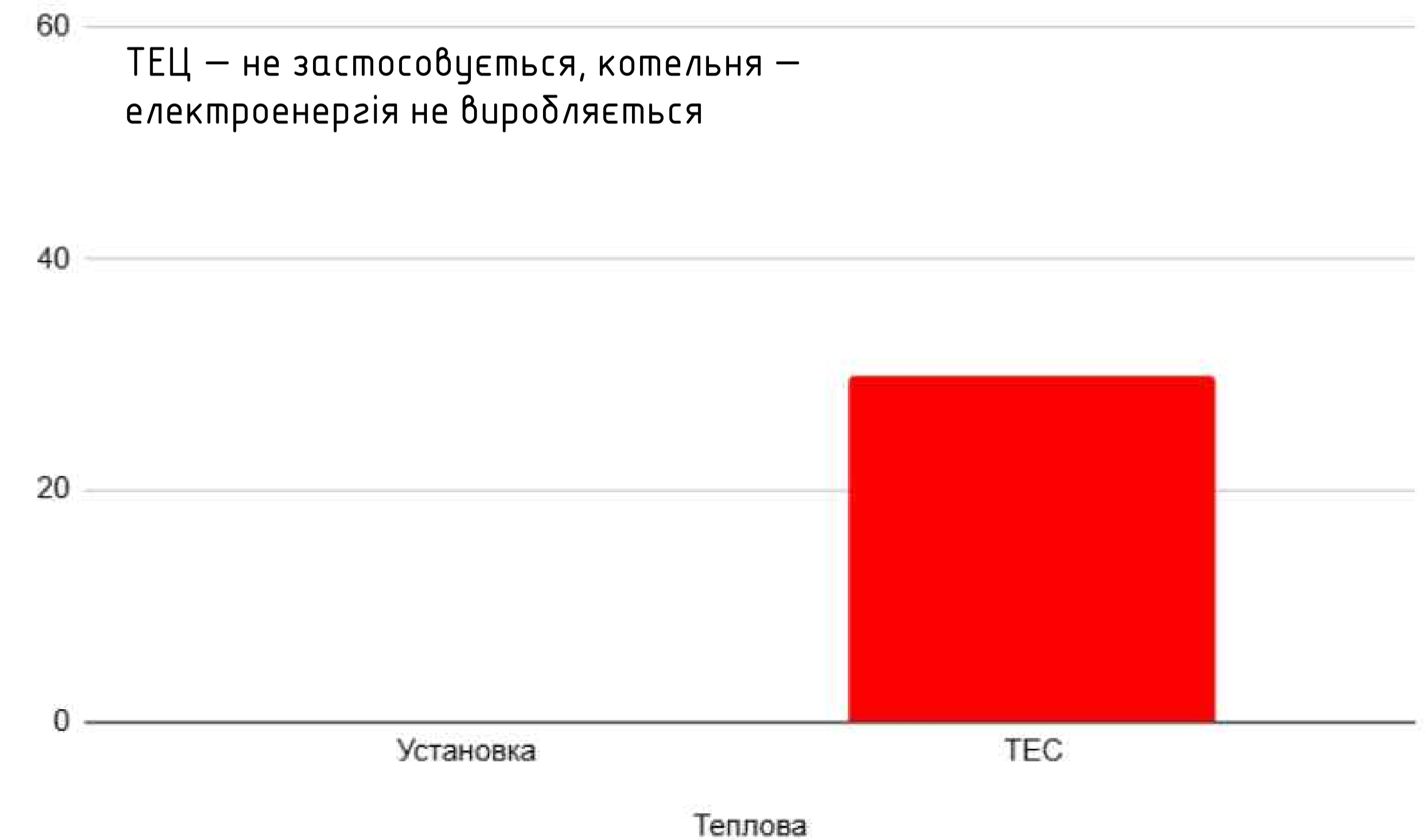
Таблиця 1.1.2.7 Прийняті значення питомих коефіцієнтів викидів парникових газів

	Отримане значення коефіцієнту
Коефіцієнт викидів тСО ₂ екв при виробництві електричної енергії	Коефіцієнт викидів тСО ₂ екв при виробництві теплової енергії
420 г/кВт·год (загальне національне значення для споживання електричної енергії з мережі)	260 г/кВт·год, еквівалентно 72 тСО ₂ екв/ТДж (вказано при роботі тільки газових опалювальних котлів)
0,298 т/МВт·год	-
279 г/кВт·год	-
0,43 т/МВт·год	-
-	70-110 т/ ТДж (в залежності від типу викопного палива безпосередньо на джерелі генерації)

ККД виробництва теплової енергії, %



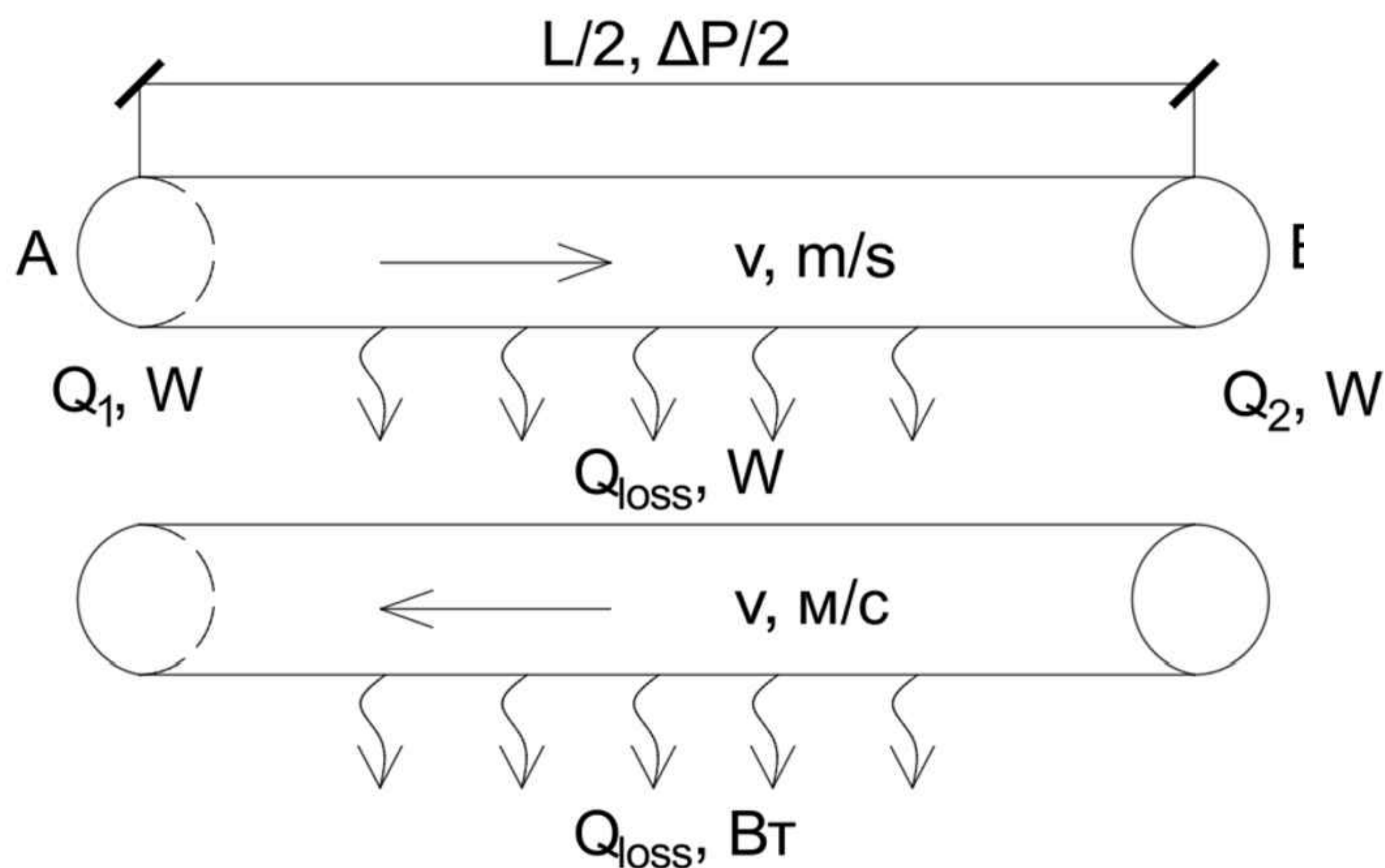
ККД виробництва електричної енергії, %



Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Арх.	№ док.	Підпис.	Дата
Разраб.	Михайлишин				
Керівник	Лозосов О.Г.				
Екологічна оптимізація				Стандія	Лист
				КР	3
Числово характеристика виробництва теплової та електричної енергії. Прийняті значення питомих коефіцієнтів викидів парникових газів				КНУБА ТВн-24-2	
Доб. кафедри Кириченко М.				Формат А1	

Фізична модель

$$E_{CO_2eq,DH} = E_{CO_2eq,pump} + E_{CO_2eq,heatloss} + E_{CO_2eq,fuel} + E_{CO_2eq,log} + E_{CO_2eq,manuf}$$



Спрощений вигляд функції

$$E_{CO_2eq,DH} = K1 \cdot v^3 \cdot d^{0.75} + K2 \cdot d^{0.5} + K3 \cdot (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3}) + (K4 + K5) \cdot (d + \vartheta)$$

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, $^{\circ}C$,

де $E_{CO_2eq,DH}$ – сумарні питомі викиди парникових газів, пов'язані з постачанням теплової енергії, $кг CO_2$ -екв.;

$E_{CO_2eq,pump}$ – викиди парникових газів, пов'язані з витратою електричної енергії на роботу двигуна мережевого насоса централізованої системи тепlopостачання, $кг CO_2$ -екв.;

$E_{CO_2eq,heatloss}$ – викиди парникових газів, пов'язані з втратою теплової енергії на ділянці в наслідок тепловіддачі від поверхні трубопроводу до навколишнього середовища, $кг CO_2$ -екв.;

$E_{CO_2eq,fuel}$ – викиди парникових газів, пов'язані з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання, $кг CO_2$ -екв.;

$E_{CO_2eq,log}$ – викиди парникових газів, пов'язані зі спалюванням палива транспортними засобами при доставці труб, $кг CO_2$ -екв.;

$E_{CO_2eq,manuf}$ – викиди парникових газів, пов'язані з первинними процесами виробництва сталі (в даному дослідженні не включені викиди від прокату), $кг CO_2$ -екв.

Обмеження цільової функції:

$$\begin{cases} d > 0, \\ v > 0, \\ d^2 \cdot v \geq \frac{4 \cdot Q_2}{\pi \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \cdot \rho} \end{cases}$$

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Арх. № док.	Підпис.	Дата	
Разроб.	Михайлишин				
Керівник	Позосов О.Г.				
Екологічна оптимізація				Стандія	Лист
				КР	4
				Листов	12
Фізична модель. Цільова функція з огляду на мінімізацію викидів парникових газів (показок)					
Доб. кафедри Кириченко М.				КНУБА ТВн-24-2	
Копіював					
Формат А1					

Викиди парникових газів, пов'язані з витратою електричної енергії на роботу двигуна насоса централізованої системи тепlopостачання можуть бути представлені наступним чином:

$$E_{CO_2eq,pump} = FC_{pump} \cdot EF_{CO_2eq,el.}$$

де FC_{pump} – витрата електричної енергії на роботу двигуна насоса, кВт*год;

$EF_{CO_2eq,el.}$ – коефіцієнт викидів парникових газів пов'язаний зі спалюванням палива

для виробництва електричної енергії.

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 насоса (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 тепlopостачання на ділянці, м;

v – швидкість руху теплоносія на ділянці, м/с.

Використання наступної формули в даному дослідженні зумовлене фактом, що в досліджуваній ділянці труби очевидно не відбувається суттєвої зміни густини, оскільки розглядаються системи централізованого тепlopостачання.

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

де ρ – густина теплоносія, кг/м³;

ζ – безрозмірний коефіцієнт втрат на тертя.

Враховуючи загально відомий вираз для визначення коефіцієнту втрат на тертя в залежності від коефіцієнту Дарсі, довжини ділянки і її діаметру, отримуємо вираз для визначення витрати енергії насосом:

$$FC_{pump} = \frac{\lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v}{\eta} \cdot \tau \cdot 10^{-3} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot L \cdot \rho}{8 \cdot \eta} \cdot d \cdot v^3 \cdot \tau \cdot 10^{-3}$$

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:

$$E_{CO_2eq,pump} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot L \cdot \rho}{8 \cdot \eta} \cdot d \cdot v^3 \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,el.prod}$$

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.

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 °C), м²/с.

Таким чином залежність варто замінити наступною:

$$E_{CO_2eq,pump} = \frac{0.11 \cdot \pi \cdot L \cdot \rho}{8 \cdot \eta} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,el.prod} \cdot d \cdot v^3 \cdot \left(\frac{\Delta_E}{d}\right)^{0.25},$$

$$E_{CO_2eq,pump} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,el.prod} \cdot v^3 \cdot (d^3 \cdot \Delta_E)^{0.25},$$

$$E_{CO_2eq,pump} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,el.prod} \cdot v^3 \cdot d^{0.75}.$$

Викиди парникових газів, пов'язані з втратою теплової енергії на ділянці в наслідок тепловіддачі від поверхні трубопроводу до навколишнього середовища, кг CO₂-екв. Можуть бути розраховані наступним чином:

$$E_{CO_2eq,heatloss} = FC_{heatloss} \cdot EF_{CO_2eq,heatloss}$$

де $FC_{heatloss}$ – втрати теплової енергії, ТДж;

$EF_{CO_2eq,heatloss} = EF_{CO_2eq,fuel}$ – коефіцієнт викидів парниковий газів пов'язаних з втратами теплової енергії на ділянці, який рівний коефіцієнту викидів парникових газів, пов'язаний з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання, кг CO₂-екв./ТДж.

$$E_{CO_2eq,heatloss} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{loss} \cdot EF_{CO_2eq,fuel} \cdot \tau,$$

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

$EF_{CO_2eq,heatloss} = EF_{CO_2eq,fuel}$ – коефіцієнт викидів парниковий газів пов'язаних з втратами теплової енергії на ділянці, який рівний коефіцієнту викидів парникових газів, пов'язаний з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання, кг CO₂-екв./ТДж.

З урахуванням втрат теплової енергії через поверхню трубопроводу згідно закону Ньютона-Ріхмана із рівняння отримуємо:

$$E_{CO_2eq,heatloss} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha \cdot \pi \cdot d_{ins} \cdot L \cdot (t_{с.т.} - t_{зов}) \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,fuel} \cdot \tau,$$

де α – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

$t_{с.т.}$ – середня температура середовища, К;

$t_{зов}$ – зовнішня температура, К;

d_{ins} – зовнішній діаметр теплової ізоляції, м.

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Арх.	№ док.	Підпис.	Дата
Розроб.	Михайлишин				
Керівник	Лозосов О.Г.				
Екологічна оптимізація				Стандія	Лист
				КР	5
				Листов	12
Цільова функція: Цільова функція з огляду на мінімізацію викидів парникових газів (продовження)					
Доб. кафедри Кириченко М				КНУБА ТВн-24-2	

Застосуємо підхід через нормативні втрати теплової енергії:

$$E_{CO_2eq,heatloss} = q_{spec} \cdot L \cdot EF_{CO_2eq,fuel} \cdot \tau,$$

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

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

Тоді остаточно залежність для визначення викидів буде такою:

$$E_{CO_2eq,heatloss} = 3.6 \cdot 10^{-9} \cdot 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot EF_{CO_2eq,fuel} \cdot \tau,$$

$$E_{CO_2eq,heatloss} = 1.25 \cdot 10^{-6} \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot EF_{CO_2eq,fuel} \cdot \tau,$$

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

$$E_{CO_2eq,fuel} = FC_{fuel} \cdot EF_{CO_2eq,fuel}$$

де FC_{fuel} – витрата палива, ТДж;

$EF_{CO_2eq,fuel}$ – коефіцієнт викидів парникових газів, пов'язаний з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання, кг CO₂-екв./ТДж.

Для фізичної моделі формула може бути трансформована наступним чином:

$$E_{CO_2eq,fuel} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot Q_1 \cdot \tau \cdot EF_{CO_2eq,fuel}$$

де Q_1 – вхідна теплова потужність системи, кВт;

τ – значення періоду роботи системи тепlopостачання, в даному дослідженні приймається рівним 1 год.

З урахуванням втрат теплової енергії на ділянці із залежності отримуємо:

$$E_{CO_2eq,fuel} = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3}) \cdot \tau \cdot EF_{CO_2eq,fuel},$$

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

d – діаметр трубопроводу, м;

Сумарні викиди парникових газів, пов'язані з доставкою матеріалів лінійних частин трубопроводів на ділянку будівництва можуть бути розраховані наступним чином:

$$E_{CO_2eq,log} = FC_{log} \cdot EF_{CO_2eq,log} \cdot \frac{\tau}{T},$$

Може бути трансформована наступним чином:

$$E_{CO_2eq,log} = \pi \cdot \partial \cdot (d + \partial) \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot L_{LOG} \cdot EF_{CO_2eq,log} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\tau}{T}$$

де $EF_{CO_2eq,log}$ – коефіцієнт викидів парникових газів пов'язаний з транспортуванням труб, кг CO₂екв /км

L_{LOG} – довжина логістичних маршрутів, км;

T – термін експлуатації теплових мереж централізованого тепlopостачання, років.

$$E_{CO_2eq,manuf} = FC_{manuf} \cdot EF_{CO_2eq,manuf} \cdot \frac{\tau}{T},$$

Для фізичної моделі формула може бути трансформована наступним чином:

$$E_{CO_2eq,manuf} = \pi \cdot \partial \cdot (d + \partial) \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,manuf} \cdot \frac{\tau}{T},$$

де $EF_{CO_2eq,manuf}$ – коефіцієнт викидів парникових газів пов'язаний з первинними процесами виробництва сталі, кг CO₂екв/т;

d – діаметр трубопроводу внутрішній (умовний), м;

∂ – товщина стінки труби, м;

l – довжина ділянки трубопроводу, м;

ρ_{steel} – густина сталі, кг/м³.

Маємо зведену цільову функцію наступного вигляду:

$$E_{CO_2eq,DH} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,el.prod} \cdot v^3 \cdot d^{0.75} + 1.25 \cdot 10^{-6} \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot EF_{CO_2eq,fuel} \cdot \tau + 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3}) \cdot \tau \cdot EF_{CO_2eq,fuel} + \pi \cdot \partial \cdot (d + \partial) \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot L_{LOG} \cdot EF_{CO_2eq,log} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\tau}{T} + \pi \cdot \partial \cdot (d + \partial) \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,manuf} \cdot \frac{\tau}{T},$$

Приведемо залежність до функціонального вигляду:

$$E_{CO_2eq,DH}(d, v) = \left(\frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,el.prod} \right) \cdot v^3 \cdot d^{0.75} + (1.25 \cdot 10^{-6} \cdot L \cdot EF_{CO_2eq,fuel} \cdot \tau) \cdot d^{0.5} + (3,6 \cdot 10^{-6} \cdot \tau \cdot EF_{CO_2eq,fuel}) \cdot (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3}) + \left(\pi \cdot \partial \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot L_{LOG} \cdot EF_{CO_2eq,log} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\tau}{T} \right) \cdot (d + \partial) + \left(\pi \cdot \partial \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,manuf} \cdot \frac{\tau}{T} \right) \cdot (d + \partial)$$

Для спрощення вигляду функції проведемо заміну:

$$K1 = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,el.prod}$$

$$K2 = 1.25 \cdot 10^{-6} \cdot L \cdot EF_{CO_2eq,fuel} \cdot \tau$$

$$K3 = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot \tau \cdot EF_{CO_2eq,fuel}$$

$$K4 = \pi \cdot \partial \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot L_{LOG} \cdot EF_{CO_2eq,log} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\tau}{T}$$

$$K5 = \pi \cdot \partial \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,manuf} \cdot \frac{\tau}{T}$$

Спрощений вигляд має наступний вигляд:

$$E_{CO_2eq,DH} = K1 \cdot v^3 \cdot d^{0.75} + K2 \cdot d^{0.5} + K3 \cdot (Q_2 + 348 \cdot d^{0.5} \cdot L \cdot 10^{-3}) + (K4 + K5) \cdot (d + \partial)$$

Кваліфікаційна робота						
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії						
Зм.	Кільк.	Арх.	№ док.	Підпис.	Дата	
Разроб.	Михайлишин					
Керівник	Позосов О.Г.					
Екологічна оптимізація						Станд.
						Лист
						Лист
						КР
						6
						12
Цільова функція з огляду на мінімізацію викидів парникових газів (закінчення)						КНУБА ТВн-24-2
Заб. кафедри Кириченко М.						
Копіробал						Формат А1

```
// Введення параметрів користувачем
Q2 = input("Введіть потужність приєднаного абонента (Q2, кВт): ");

// Константи
lambda = 0.045 * 10(-3); // теплопровідність утеплювача, кВт/м°C
tau = 1; // час, година
eta = 0.95; // ККД
rho = 1000; // густина теплоносія, кг/м3
rho_steel = 7800; // густина сталі, кг/м3
d_thickness = 0.005; // товщина стінки трубопроводу, м
EFelprod = 0.0003; // мCO2/кВт*год
EFfuel = 0.771 / (4.186 * 106 / 3600); // мCO2/кВт*год
EFlog = 3 * 10(-3); // мCO2/км
EFmanuf = 1.6; // мCO2/м

t9 = 40;
t8 = 0;
L = 1000;
T1 = 90;
T2 = 70;
alpha = 0.015;
T = 500000;
LLOG = 50;

// Розрахунок коефіцієнтів
K1 = ((%pi * lambda * L * rho) / (8 * eta)) * 10(-3) * EFelprod * tau;
K2 = 7.2 * 10(-6) * alpha * %pi * L * (t9 -
```

```
t8) * 10(-3) * EFfuel * tau;
K3 = 3.6 * 10(-6) * Q2 * EFfuel * tau;
K4 = LLOG * EFlog * tau / T;
K5 = (-%pi / 4) * d_thickness2 * L * rho_steel * 10(-3) * EFmanuf * tau / T;
K6 = (%pi / 2) * d_thickness * L * rho_steel * 10(-3) * EFmanuf * tau / T;

// Діапазон діаметрів і швидкостей з меншим кроком
d_vals = -0.5:0.0125:0.5; // м (від -0.5 до 0.5 з кроком 0.0125, 81 значення)
v_vals = -10:0.125:10; // м/с (від -10 до 10 з кроком 0.125, 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 (векторизована форма)
E = K1 * DD .* VV.3 + (K2 + K6) * DD + K3 + K4 + K5;

// Перевірка розміру E
disp("Розмір E: "); disp(size(E)); // 161x81

// Розрахунок порогового значення для умови
```

```
threshold = 4 * Q2 / (13444 * (T1 - T2));
disp("Threshold: "); disp(threshold);

// Створюємо матрицю кольорів розміром (length(v_vals)-1) x (length(d_vals)-1)
colors = ones(length(v_vals)-1, length(d_vals)-1); // Розмір 160x80
for i = 1:length(v_vals)-1
    for j = 1:length(d_vals)-1
        // Використовуємо середні значення між сусідніми точками сітки
        D_avg = (DD(i,j) + DD(i,j+1) + DD(i+1,j) + DD(i+1,j+1)) / 4;
        V_avg = (VV(i,j) + VV(i,j+1) + VV(i+1,j) + VV(i+1,j+1)) / 4;
        if D_avg >= 0 & V_avg >= 0
            if (D_avg2) * V_avg > threshold
                colors(i,j) = 3; // Червоний колір для (D2)*V > threshold
            else
                colors(i,j) = 2; // Зелений колір для D ≥ 0, V ≥ 0, але (D2)*V ≤ threshold
            end
        else
            colors(i,j) = 1; // Білий колір для від'ємних D або V
        end
    end
end
end
```

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Архив	№ док.	Підпис.	Дата
Розроб.	Михайлишин				
Керівник	Позосов О.Г.				
Доб. кафедри	Кириченко М.				
Комп'ютерне моделювання цільової функції за допомогою програмного забезпечення SciLAB				Стандія	Лист
Код у середовищі SciLAB (початок)				КР	7
				Листов	12
				КНУБА ТВн-24-2	

```

//    Перевірка розміру colors
disp("Розмір colors: "); disp(size(colors)); // 160x80

//    Побудова поверхні з використанням surf
clf(); // Очистити поточну
surf(d_vals, v_vals, E, colors);

//    Налаштування колірної карти (1 - білий, 2 - зелений, 3 - червоний)
colormap([1, 1, 1; 0, 1, 0; 1, 0, 0]); // Білий, зелений, червоний

//    Налаштування назв вісей і самого графіку
xlabel('Діаметр трубопроводу, d, м');
ylabel('Швидкість теплоносія, v, м/с');
zlabel('Викиди ПГ, m CO2екв');
title('Функція сумарних питомих викидів парникових газів при постачанні теплової енергії ЦТ');

//    Знаходження мінімального E у червоній зоні з обмеженням D >= 0 і V >= 0
red_zone_mask = (DD.^2 .* VV > threshold) & (DD >= 0) & (VV >= 0); // Маска для червоної зони
E_red_zone = E(red_zone_mask); // Витягуємо E для червоної зони

if ~isempty(E_red_zone)
    [min_E, idx] = min(E_red_zone); // Знаходимо мінімальне E і його індекс
    D_min = DD(red_zone_mask)(idx); // Відповідне D
    V_min = VV(red_zone_mask)(idx); // Відповідне V

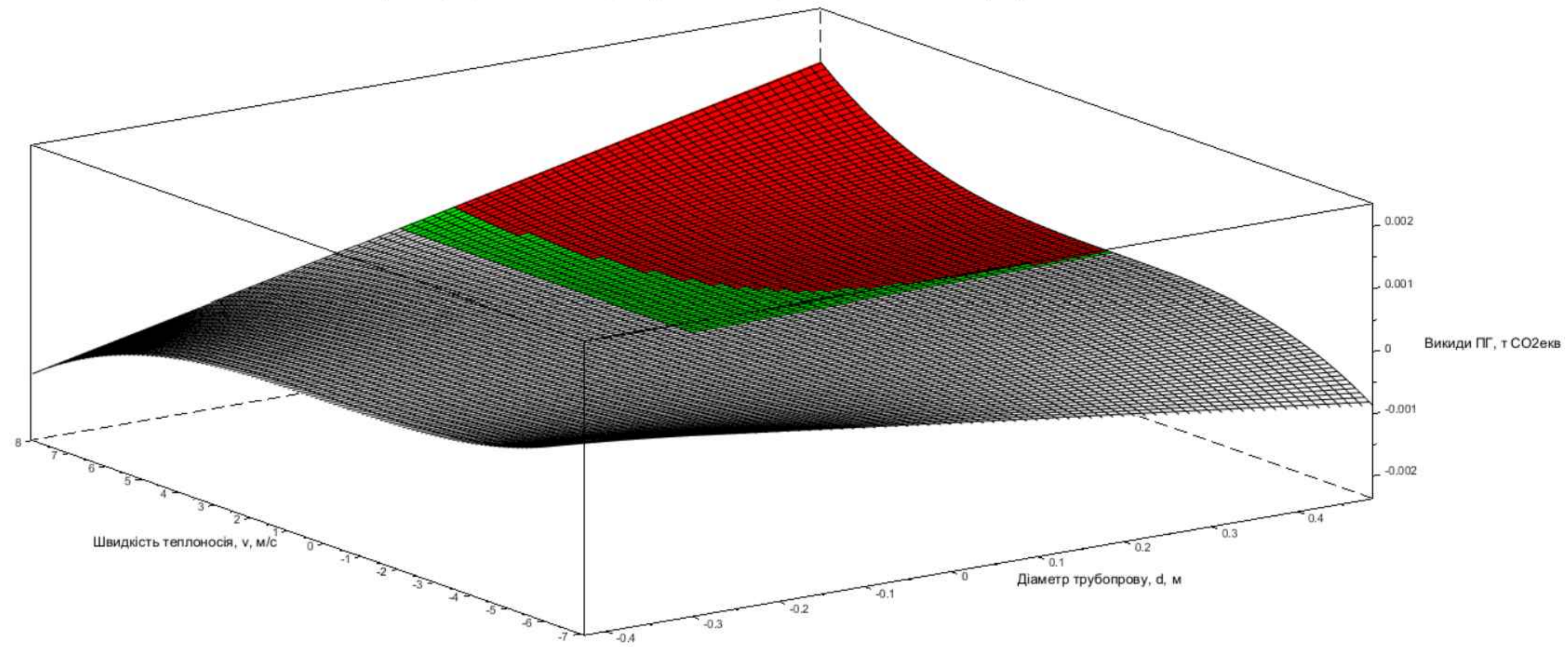
//    Виведення результатів
disp("Мінімальне E у червоній зоні: "); disp(min_E);
disp("Відповідне D: "); disp(D_min);
disp("Відповідне V: "); disp(V_min);
else
    disp("Червона зона порожня! Жодна точка не відповідає умові (D^2)*V > threshold, D >= 0, V >= 0.");
end

```

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Архив	№ док.	Підпис.	Дата
Разроб.	Михайлишин				
Керівник	Лозосов О.Г.				
Комп'ютерне моделювання цільової функції за допомогою програмного забезпечення SciLAB				Стандія	Лист
Код у середовищі SciLAB (кінець)				КР	8
Доб. кафедри				Кириченко М.	Листов
				КНУБА ТВн-24-2	12

Тридимірна модель E(d, v) при 2000кВт

Функція сумарних питомих викидів парникових газів при постачанні теплової енергії ЦТ

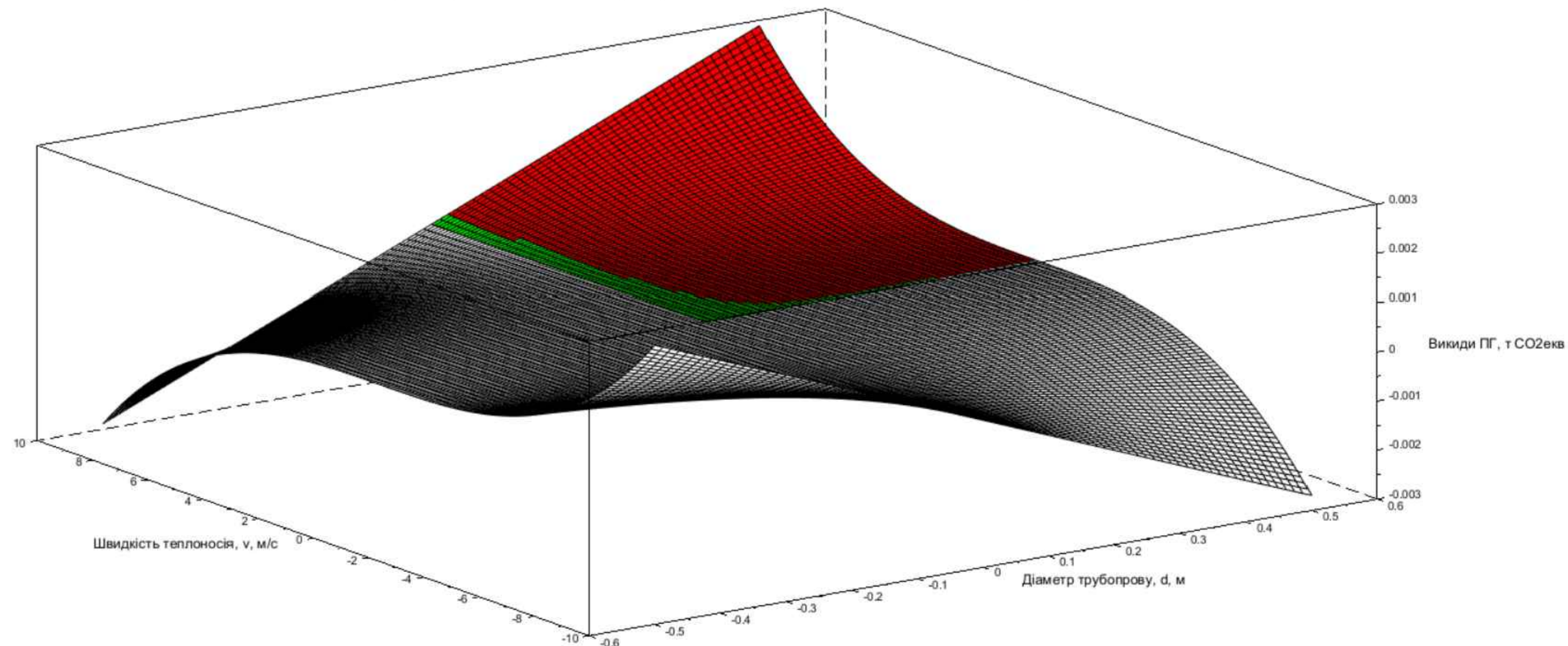


Результат 2000 кВт:

```
"Розмір DD: "
161. 81.
"Розмір VV: "
161. 81.
"Розмір E: "
161. 81.
"Threshold: "
0.0297530
"Розмір colors: "
160. 80.
"Мінімальне E у червоній зоні: "
0.0000347
"Відповідне D: "
0.125
"Відповідне V: "
2.
```

Тридимірна модель E(d, v) при 500 кВт

Функція сумарних питомих викидів парникових газів при постачанні теплової енергії ЦТ



Результат 500 кВт:

```
"Розмір DD: "
161. 81.
"Розмір VV: "
161. 81.
"Розмір E: "
161. 81.
"Threshold: "
0.0074383
"Розмір colors: "
160. 80.
"Мінімальне E у червоній зоні: "
0.0000160
"Відповідне D: "
0.0625
"Відповідне V: "
2.
```

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Архив	№ док.	Підпис.	Дата
Розроб.	Михайлишин				
Керівник	Лозосов О.Г.				
Заб. кафедри	Кириченко М.				
Три вимірна модель при 2000 кВт. Три вимірна модель при 500кВт				Стандія	Лист
				КР	9
				Листов	12
				КНУБА ТВн-24-2	

```
// Очистка
clear;
clc;

// Константи
c = 4187; // Дж/(кг·K)
rho = 1000; // кг/м³
v_max = 3; // м/с
beta = 1.15;
t_g = 5; // °C
t_int = 18; // °C
t_des = -22; // °C
t_p_base = 95; // °C
t_z_base = 70; // °C
DeltaT_base = t_p_base - t_z_base;
```

```
// Таблиця 3.1 з Методуки (Вт/м)
```

```
Dn_tab =
[25,50,65,80,100,150,200,250,300,350,400,450,500,600,700,800,900,1000]';
q52_5 =
[52,65,75,80,88,109,131,154,173,191,209,230,251,286,316,354,387,426]';
q65 =
[60,75,86,93,102,124,151,174,195,212,235,259,282,321,355,396,433,475]';
q75 =
[67,84,95,102,111,136,165,190,212,234,254,280,303,345,379,423,463,506]';
```

```
// Функція для q (Вт/м) з
інтерполяцією за Delta = t_sr - t_g
function q = get_q(Dn, Delta)
    if Delta <= 52.5 then
        q_tab = q52_5 * (Delta / 52.5);
    elseif Delta <= 65 then
        q_tab = q52_5 + (q65 - q52_5) *
(Delta - 52.5) / (65 - 52.5);
    elseif Delta <= 75 then
```

```
        q_tab = q65 + (q75 - q65) * (Delta -
65) / (75 - 65);
    else
        q_tab = q75 * (Delta / 75);
    end
    inds = find(Dn_tab == Dn);
    if ~isempty(inds) then
        q = q_tab(inds(1));
    else
        q = interp1(Dn_tab, q_tab, Dn,
"linear");
    end
    q = beta * q;
endfunction
```

```
// Фіксовані дані мережі
N = 12;
x =
[0,0,200,500,500,800,1000,1000,1000,800,600,400]';
y =
[0,400,400,400,600,600,600,400,200,200,200,200]';
Q_base =
[0,0,5000,0,0,1000,0,1000,0,2000,1000,1000]';
// кВт
```

```
// Розрахунок відстаней (м)
```

```
l = zeros(N-1,1);
for i=1:N-1
    l(i) = sqrt((x(i+1)-x(i))^2 +
(y(i+1)-y(i))^2);
end
```

```
// Розрахунок Dn для ділянок (мм)
```

```
Dn = zeros(N-1,1);
for i=1:N-1
    sum_Q_down = sum(Q_base(i+1:N));
    G_max = sum_Q_down * 1000 / (c *
DeltaT_base); // кг/с
    V = G_max / rho; // м³/с
    A = V / v_max; // м²
    d = sqrt(4 * A / %pi) * 1000; // мм
// Наїближчий більший Dn
inds = find(Dn_tab >= d);
if ~isempty(inds) then
    ind = inds(1);
```

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Арх.	№ док.	Підпис.	Дата
Розроб.	Михайлишин				
Керівник	Лозосов О.Г.				
Доб. кафедри				Кириченко М.	
Код у середовищі SciLAB (початок)				КНУБА ТВн-24-2	

```

else
    ind = length(Dn_tab);
end
Dn(i) = Dn_tab(ind);
end

// Розрахунок максимальних втрат для потужності
котельні (номінальний режим)
load_factor_max = 1;
Q_max = Q_base * load_factor_max;
t_p_max = 95; // Фіксована номінальна температура
подачі в джерелі
t_z_max = t_z_base;
DeltaT_max = t_p_max - t_z_max; // Фіксований
перепад 25 °C

G_max = zeros(N-1,1);
for i = N-1:-1:1
    sum_Q_down = sum(Q_max(i+1:N));
    G_max(i) = sum_Q_down * 1000 / (c * DeltaT_max);
end

t_p_max_arr = zeros(N,1);
t_p_max_arr(1) = t_p_max;
q_p_vec_max = zeros(N-1,1);
for i = 1:N-1
    t_sr = t_p_max_arr(i);
    Delta = t_sr - t_g;
    q_p_vec_max(i) = get_q(Dn(i), Delta);
    Q_loss_p = q_p_vec_max(i) * l(i); // Bm
    DeltaT_p = Q_loss_p / (G_max(i) * c);
    t_p_max_arr(i+1) = t_p_max_arr(i) - DeltaT_p;
end

t_z_max_arr = zeros(N,1);
t_z_max_arr(N) = t_p_max_arr(N) - DeltaT_max;

q_z_vec_max = zeros(N-1,1);
for i = N-1:-1:1
    t_sr = t_z_max_arr(i+1);
    Delta = t_sr - t_g;
    q_z_vec_max(i) = get_q(Dn(i), Delta);
    Q_loss_z = q_z_vec_max(i) * l(i); // Bm
    DeltaT_z = Q_loss_z / (G_max(i) * c);
    t_z_after_pipe = t_z_max_arr(i+1) - DeltaT_z;

```

```

if Q_base(i) > 0 then
    G_cons = Q_max(i) * 1000 / (c * DeltaT_max);
    t_z_cons = t_p_max_arr(i) - DeltaT_max;
    t_z_max_arr(i) = (G_max(i) * t_z_after_pipe +
G_cons * t_z_cons) / (G_max(i) + G_cons);
else
    t_z_max_arr(i) = t_z_after_pipe;
end
end

Q_loss_max = sum(q_p_vec_max .* l + q_z_vec_max .* l)
/ 1000; // кВтm
Q_boiler = sum(Q_base(2:N)) + Q_loss_max;

// Добовий профіль t_out січня (Київ)
h = 1:24;
t_out = -3.2 + 1.5 * sin(2*pi*(h-14)/24) + 1.5 *
cos(2*pi*(h-7)/24);

// Розрахунок за години (для добових втрат,
температура подачі варіюється, але вивід температур
- номінальні)
Q_loss_hourly = zeros(24,1); // кВтm
for hh = 1:24
    load_factor = (t_int - t_out(hh)) / (t_int - t_des);
    Q = Q_base * load_factor;

    t_p_h = t_z_base + (t_p_base - t_z_base) *
load_factor^0.5;
    t_z_h = t_z_base;
    DeltaT_h = t_p_h - t_z_h;

// Витрати G (кг/с)
G = zeros(N-1,1);
for i = N-1:-1:1
    sum_Q_down = sum(Q(i+1:N));
    G(i) = sum_Q_down * 1000 / (c * DeltaT_h); // Q в Bm
end

// t_p вздовж подачі (від 1 до N)
t_p_temp = t_p_h;
q_p_vec = zeros(N-1,1);
for i = 1:N-1
    t_sr = t_p_temp; // Для q
    Delta = t_sr - t_g;
    q_p_vec(i) = get_q(Dn(i), Delta);
    Q_loss_p = q_p_vec(i) * l(i); // Bm

```

```

DeltaT_p = Q_loss_p / (G(i) * c);
t_p_temp = t_p_temp - DeltaT_p;
end

// t_z від кінця (від N до 1)
t_z_temp = t_p_temp - DeltaT_h;

q_z_vec = zeros(N-1,1);
for i = N-1:-1:1
    t_sr = t_z_temp;
    Delta = t_sr - t_g;
    q_z_vec(i) = get_q(Dn(i), Delta);
    Q_loss_z = q_z_vec(i) * l(i); // Bm
    DeltaT_z = Q_loss_z / (G(i) * c);
    t_z_after_pipe = t_z_temp - DeltaT_z;
    if Q(i) > 0 then
        G_cons = Q(i) * 1000 / (c * DeltaT_h);
        t_z_cons = (t_p_h - DeltaT_p * i) - DeltaT_h; //
Наближення для t_p в i
        t_z_temp = (G(i) * t_z_after_pipe + G_cons *
t_z_cons) / (G(i) + G_cons);
    else
        t_z_temp = t_z_after_pipe;
    end
end

// Втрати потужності (кВтm)
Q_loss_hourly(hh) = sum(q_p_vec .* l + q_z_vec .* l) /
1000;
end

// Вивід
disp("Відстані між вузлами (м):");
disp(l);

disp("Розрахункові діаметри Dn (мм):");
disp(Dn);

disp("Температури в вузлах для номінального режиму
(°C):");
for i=1:N

```

Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Архив	№ док.	Підпис.	Дата
Розроб.	Михайлишин				
Керівник	Позосов О.Г.				
Заб. кафедри	Кириченко М.				
Модельвання та прозорна реалізація розрахунку теплової мережі				Стандія	Лист
				КР	11
				Листов	12
Код у середовищі Scilab (продовження)				КНУБА ТВн-24-2	

```

disp("Вузол " + string(i) + ": t_p = " + string(t_p_max_arr(i)) + ", t_z = " +
string(t_z_max_arr(i)));
end

```

```

disp("Фактична кількість втрат теплової енергії (середня добова, кВт·год): " +
string(mean(Q_loss_hourly) * 24));

```

```

disp("Встановлена потужність котельні (основного джерела з урахуванням втрат, кВт): " +
string(Q_boiler));

```

```

// Схема з збільшеною сіткою на 20%

```

```

scf();
a = gca();
a.auto_scale = "off";
plot(x, y, "b-o", "thickness", 2);
xlabel("Схема теплової мережі");
for i=1:N

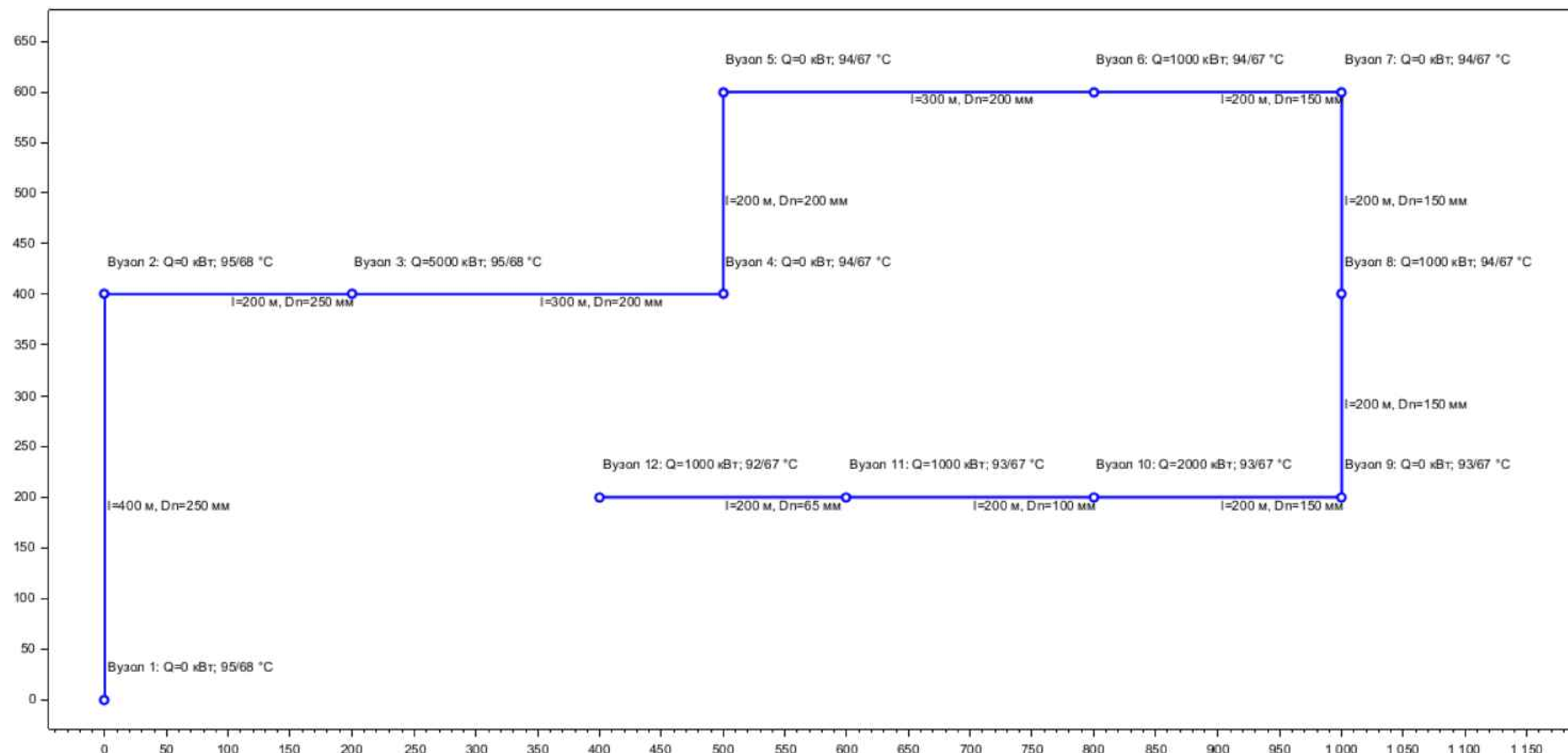
```

```

xstring(x(i), y(i) + 20, "Вузол " + string(i) + ": Q=" + string(Q_base(i)) + " кВт; " +
string(round(t_p_max_arr(i))) + "/" + string(round(t_z_max_arr(i))) + " °C");
end
for i=1:N-1
mid_x = (x(i) + x(i+1))/2;
mid_y = (y(i) + y(i+1))/2;
xstring(mid_x, mid_y - 20, "l=" + string(round(l(i))) + " м, Dn=" + string(Dn(i)) + " мм");
end
x_min = min(x);
y_min = min(y);
x_max = max(x);
y_max = max(y);
range_x = x_max - x_min;
range_y = y_max - y_min;
xmin_exp = x_min - 0.1 * range_x;
ymin_exp = y_min - 0.1 * range_y;
xmax_exp = x_max + 0.1 * range_x;
ymax_exp = y_max + 0.1 * range_y;
replot([xmin_exp, ymin_exp, xmax_exp, ymax_exp]);

```

Схема теплової мережі



Кваліфікаційна робота					
Оптимізація параметрів ділянки теплової мережі з метою мінімізації викидів парникових газів при постачанні теплової енергії					
Зм.	Кільк.	Архив	№ док.	Підпис.	Дата
Розроб.	Михайлишин				
Керівник	Позосов О.Г.				
Доб.	кафедра	Кириченко М.			
Модельвання та прозорна реалізація розрахунку теплової мережі				Стандія	Лист
Код у середовищі SciLAB (кінець). Схема теплової мережі.				КР	12
КНУБА ТВн-24-2				ЛистоВ	12