

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного  
господарства та природокористування

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних  
машин

**01-06-82М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни  
«Високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за ОПП «Теплоенергетика» спеціальності 144  
«Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична інженерія»  
усіх форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою  
з якості ННІВГП  
Протокол №10 від 20.06.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за ОПП «Теплоенергетика» спеціальності 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична інженерія» усіх форм навчання / [Електронне видання] / Костюк О. П. – Рівне : НУВГП, 2023. – 45 с.

Укладач: Костюк О. П., к.т.н., доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Відповідальний за випуск: Рябенко О. А., д.т.н., професор, завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Керівник групи забезпечення спеціальності 144 «Теплоенергетика»

Костюк О. П.

© О. П. Костюк, 2023  
© НУВГП, 2023

## ЗМІСТ

Вступ	3
1 Постановка задачі	4
2. Вихідні дані	5
3 Приклад аеродинамічного розрахунку димового тракту	8
Література	34
Додатки	35

## ВСТУП

У методичних вказівках розглянуто процес відведення продуктів згоряння палива через димоходи та димову трубу в навколишній простір, наведено аеродинамічні розрахунки димового тракту (визначення втрат тиску на подолання сил тертя та місцевих опорів), типи димососів, наведений розрахунок висоти димової труби за аеродинамічним опором димового тракту (аналітичний розрахунок) та перевірено цю висоту на безпеку поширення шкідливих викидів у навколишній простір за допомогою ЕОМ. Наведено 25 варіантів під'єднання котлових агрегатів і циклонної печі до димової труби, що дає змогу використовувати ці методичні вказівки для видачі завдань з контрольних робіт та в курсових роботах для студентів заочної і денної форм навчання.

# 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Димова труба ДТ (рис. 1.1) має обслуговувати три котельних агрегати К1, К2, К3 та циклону піч ЦП. Завданням передбачено різні варіанти одночасної роботи котельних агрегатів та циклонної печі. Наприклад, можуть працювати одночасно агрегати К1, К3 та циклонна піч, або циклонна піч та котлоагрегат К1.

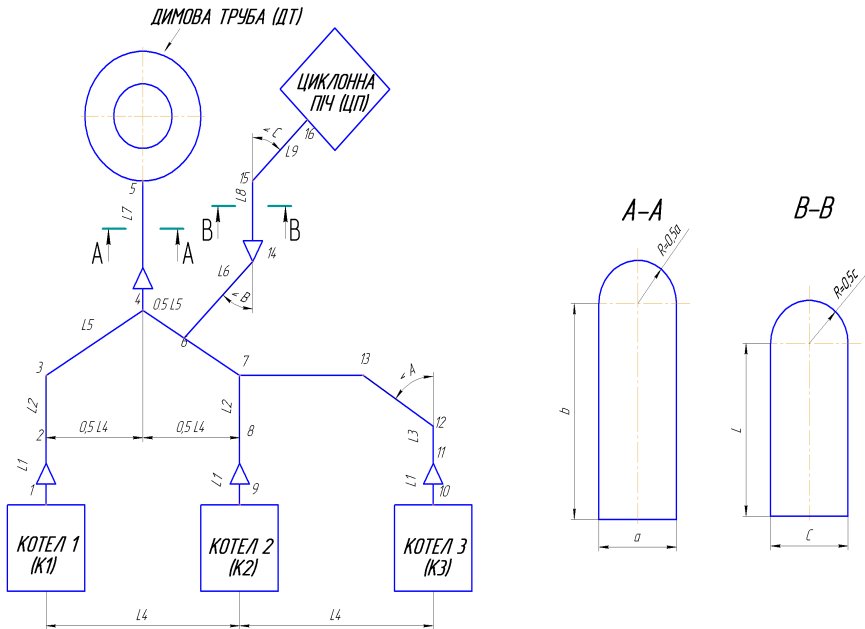


Рис. 1.1. Загальна схема та перерізи димоходів

Позначення довжини ділянок димоходів показано на рис. 1.1. Наприклад, ділянка 1-2 має довжину –  $L_1$ , ділянка 6-14 –  $L_6$  і так далі. Всі ділянки димоходів, за виключенням ділянки 4-5, мають переріз B-B, а ділянка 4-5 – переріз A-A. Перерізи та позначення їх розмірів наведені на рис. 1.2.

На рис. 1.1 також позначено кути  $\angle A, \angle B, \angle C$ , під якими димоходи змінюють свій напрямок.

Перед початком розрахунків необхідно у відповідності до варіанту визначити свою розрахункову схему та проаналізувати її, виходячи з того, що визначення висоти димової труби виконується за максимальним аеродинамічним опором одного із декількох димових трактів, а не за їх сумою. Визначивши такий тракт, необхідно вирішити ще одне питання – необхідність використання димососа.

Якщо аеродинамічний опір розрахованого тракту (тракт який має найбільший аеродинамічний опір) з урахуванням коефіцієнту запасу  $K(K=1,15\dots 1,2)$  дорівнює або перевищує приблизно  $300\text{Па}$ , то потрібно встановлювати димосос. Димосос, здебільшого, встановлюється перед димовою трубою поза приміщенням котельні, щоб уникнути шуму під час його роботи. Якщо аеродинамічний опір не більше  $300\text{Па}$ , то димосос можна не встановлювати, а обійтись тільки димовою трубою.

Якщо при аналізі димових трактів виявиться, що один тракт має аеродинамічний опір свідомо нижчий ніж інший, то розрахунок аеродинамічного опору цього тракту можна не проводити.

## 2. ВИХІДНІ ДАНІ

У табл.2.1 наведено вихідні дані для 25 варіантів завдання, розміри димоходів наведено в табл.2.2. У табл.2.1 позначено:

- $K1, K2, K3, ЦП$  – номери котлів та циклонної печі, згідно з рис. 1.1, які одночасно працюють;
- $V_{OK}$  та  $V_{OC}$  - витрата газу за нормальних умов для кожного котла та циклонної печі,  $\text{м}_n^3 / \text{год}$ ;
- $t_k, t_u$  – відповідно температура диму (продуктів згоряння палива) після кожного котла та циклонної печі,  $^{\circ}\text{C}$ .

Об'ємні частки продуктів згоряння палива на виході з котлів однакові і дорівнюють:

$$r_{CO_2}^k = 0,049, r_{O_2}^k = 0,139, r_{N_2}^k = 0,756, r_{H_2O}^k = 0,056$$

а на виході з циклонної печі :

$$r_{CO_2}^u = 0,0784, r_{O_2}^u = 0,0362, r_{N_2}^u = 0,7124, r_{H_2O}^u = 0,173$$

Дійсний питомий об'єм продуктів згоряння палива в котлах та в циклонній печі взяти прийняти рівним  $V_{np,32}^{\partial} = 13,44 \text{ м}_n^3 / \text{м}_n^3$ .

Таблиця 2.1

Вихідні дані до розрахунку димового тракту

Номер варіанта	Робочий агрегат	Витрата газу, $m^3 / год$	Температури продуктів згорання за агрегатами, $^{\circ}C$
1	2	3	4
1	<i>K1, K2</i>	$V_{OK}=900$	$t_K=140$
2	<i>K1, K3</i>	$V_{OK}=1000$	$t_K=200$
3	<i>K1, ЦП</i>	$V_{OK}=700, V_{OЦ}=300$	$t_K=140, t_u=600$
4	<i>K1, ЦП, K3</i>	$V_{OK}=600, V_{OU}=200$	$t_K=150, t_u=700$
5	<i>K1, ЦП, K2</i>	$V_{OK}=500, V_{OЦ}=100$	$t_K=160, t_u=800$
6	<i>K2, ЦП</i>	$V_{OK}=700, V_{OЦ}=200$	$t_K=145, t_u=600$
7	<i>K2, K3</i>	$V_{OK}=800$	$t_K=140$
8	<i>K2, K3</i>	$V_{OK}=900$	$t_K=150$
9	<i>K3, ЦП</i>	$V_{OK}=700, V_{OЦ}=120$	$t_K=150, t_u=500$
10	<i>K1, K2</i>	$V_{OK}=650$	$t_K=170$
11	<i>K1, K3</i>	$V_{OK}=750$	$t_K=180$
12	<i>K1, ЦП</i>	$V_{OK}=800, V_{OЦ}=250$	$t_K=190, t_u=560$
13	<i>K1, ЦП, K3</i>	$V_{OK}=450, V_{OЦ}=200$	$t_K=150, t_u=700$
14	<i>K1, ЦП, K2</i>	$V_{OK}=160, V_{OЦ}=180$	$t_K=140, t_u=600$
15	<i>K2, ЦП</i>	$V_{OK}=620, V_{OЦ}=180$	$t_K=150, t_u=500$
16	<i>K2, ЦП</i>	$V_{OK}=760, V_{OЦ}=80$	$t_K=170, t_u=550$
17	<i>K2, K3</i>	$V_{OK}=850$	$t_K=140$
18	<i>K2, K3</i>	$V_{OK}=780$	$t_K=170$
19	<i>K3, ЦП</i>	$V_{OK}=600, V_{OЦ}=190$	$t_K=140, t_u=700$
20	<i>K1, K3</i>	$V_{OK}=690$	$t_K=160$
21	<i>K1, ЦП</i>	$V_{OK}=550, V_{OЦ}=300$	$t_K=160, t_u=450$
22	<i>K1, ЦП, K3</i>	$V_{OK}=700, V_{OЦ}=150$	$t_K=145, t_u=600$
23	<i>K1, ЦП, K2</i>	$V_{OK}=670, V_{OЦ}=175$	$t_K=150, t_u=550$
24	<i>K2, ЦП</i>	$V_{OK}=450, V_{OЦ}=320$	$t_K=140, t_u=670$
25	<i>K2, K3</i>	$V_{OK}=680$	$t_K=170$

Таблиця 2.2

Геометричні розміри газоходів

Номер варіанта	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	A	B	C	a	b	c	l
1	12	8	—	9	12	—	9	—	—	—	—	—	0,7	0,6	—	—
2	9	8	4	10	13	—	7	—	—	30	—	—	0,8	0,7	—	—
3	7	7	—	5	8	10	7	12	6	—	45	45	0,8	0,7	0,5	0,6
4	4	6	2	7	9	8	6	8	9	45	30	30	0,9	0,8	0,6	0,7
5	7	7	—	6	8	17	4	6	5	—	45	30	0,7	0,8	0,6	0,5
6	5	5	”	5	7	8	5	9	6	—	45	30	0,6	0,7	0,5	0,4
7	7	7	3	6	8	—	7	—	”	45	—	—	0,7	0,8	—	—
8	9	7	3	6	8	—	5	—	—	30	—	—	0,6	0,7	—	—
9	7	8	4	7	9	10	6	6	6	45	45	45	0,8	0,9	0,5	0,45
10	6	7	”	10	14	—	7	—	—	—	—	—	0,7	0,7	—	—
11	7	8	2	6	7	—	5	—	—	45	—	—	0,5	0,5	—	—
12	7	5	—	7	9	11	7	6	5	—	45	30	0,8	0,9	0,6	0,5
13	7	5	4	10	12	7	5	10	6	45	30	45	0,9	1,0	0,6	0,7
14	4	4	—	9	12	9	5	7	6	—	30	30	0,6	0,7	0,5	0,6
15	6	6	—	5	6	8	6	7	7	—	45	45	0,4	0,5	0,4	0,3
16	5	4	—	6	8	9	7	6	5	—	45	45	0,8	0,9	0,5	0,4
17	3	3	1	5	7	—	4	—	—	45	—	—	0,7	0,9	—	—
18	4	3	2	10	12	—	4	—	—	60	—	—	0,9	1,0	—	—
19	5	4	2	6	8	10	4	7	6	45	30	45	0,5	0,6	0,5	0,5
20	4	3	1	6	7	—	3	—	—	45	—	—	0,8	1,0	—	—
21	6	6	—	9	12	6	5	5	6	—	45	45	0,5	0,6	0,5	0,4
22	7	4	2	12	15	8	6	5	5	45	30	45	0,8	0,9	0,6	0,5
23	4	5	—	11	15	9	5	5	6	—	30	30	0,7	0,6	0,6	0,5
24	6	5	—	10	16	7	4	9	9	—	45	45	0,5	0,6	0,6	0,4
25	7	3	2	9	11	—	5	—	—	45	—	—	0,7	0,8	—	—

Замість  $V_{np.3z}^0$  можна задавати склад палива, коефіцієнт надлишку повітря, вологовміст газоподібного палива, вологовміст повітря яке надходить для спалювання палива прийняти рівним  $10 \text{ гр} / \text{м}_n^3$  для всіх варіантів.

Тоді потрібно виконати розрахунок горіння палива та визначити дійсний об'єм продуктів згоряння палива  $V_{np.3z}^0$ .

При розрахунках прийняти падіння температури димових газів у газоходах на  $1^0\text{C}$  на  $1$ -му погонному метрі газоходу. Барометричний тиск повітря прийняти для всіх варіантів рівним  $B = 770 \text{ мм.рт.ст.}$

### 3. ПРИКЛАД АЕРОДИНАМІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ДИМОВОГО ТРАКТУ

#### 3.1. Вихідні дані

Виконати аеродинамічні розрахунки димового тракту, розрахункову схему якого наведено на рис.3.1. Визначити висоту димової труби. За необхідності підібрати димосос.

Вихідні дані у скороченому записі:

Робочий агрегат –  $K2$ ,  $ЦП$

$$V_{ок} = 720 \text{ м}_n^3 / \text{год}, \quad V_{оц} = 280 \text{ м}_n^3 / \text{год}, \quad V_{np.3z}^0 = 13,44 \text{ м}_n^3 / \text{м}_n^3$$

$$t_k = 170^0\text{C}, \quad t_y = 520^0\text{C}$$

$$r_{CO_2}^k = 0,049, \quad r_{O_2}^k = 0,139, \quad r_{N_2}^k = 0,756, \quad r_{H_2O}^k = 0,056$$

$$r_{CO_2}^y = 0,0784, \quad r_{O_2}^y = 0,0362, \quad r_{N_2}^y = 0,7124, \quad r_{H_2O}^y = 0,173$$

$$L_1 = 6 \text{ м}, L_2 = 6 \text{ м}, L_4 = 5 \text{ м}, L_5 = 6 \text{ м}, L_6 = 8 \text{ м}, L_7 = 6 \text{ м}, L_8 = 7 \text{ м}, L_9 = 7 \text{ м}$$

$$a = 0,4 \text{ м}, \quad b = 0,5 \text{ м}, \quad c = 0,4 \text{ м}, \quad l = 0,3 \text{ м}$$

$$\angle B = 45^0, \quad \angle C = 45^0$$

$$B = 770 \text{ мм.рт.ст.}$$

Падіння температури димових газів у газоходах прийняти  $1^0\text{C}$  на  $1$ -му погонному метрі довжини димоходу.



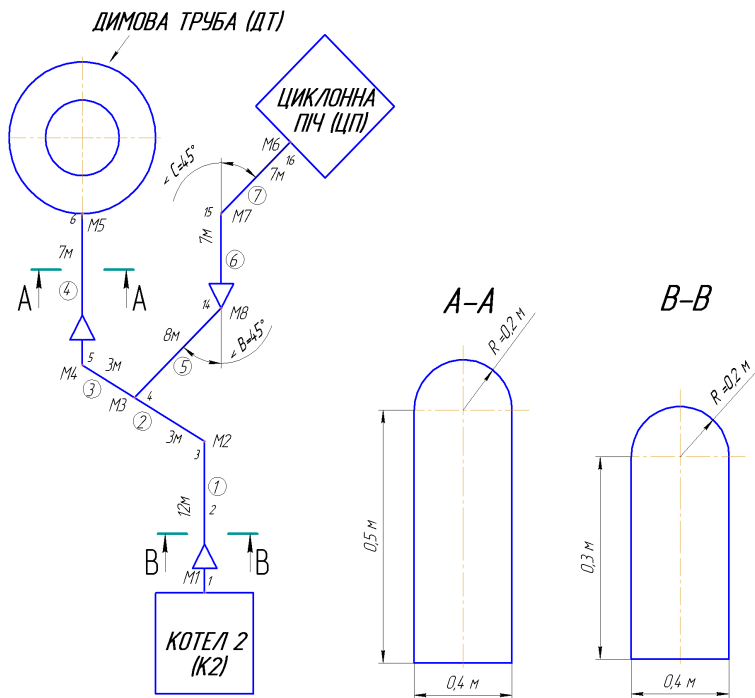


Рис. 3.1 Розрахункова схема димового тракту та перерізи димоходів

### 3.2. Аналіз розрахункової схеми димоходів

Аналізуючи наведену в прикладі розрахункову схему димових трактів, можна зробити висновок, що розрахункові ділянки димового тракту  $K2 - ДТ$  та  $ЦП - ДТ$  слід розрахувати кожну окремо, визначити ту, яка має більший аеродинамічний опір, та за отриманим аеродинамічним опором димового тракту вирішувати питання про необхідність встановлення димососа та виконати розрахунок висоти димової труби.

### 3.3. Аеродинамічний розрахунок димоходу $K2 - ДТ$

На розрахунковій схемі (рис.3.1) проставимо розміри згідно із завданням. Пронумеруємо розрахункові ділянки схеми. Перша ділянка

– ділянка 9-7, друга – ділянка 7-6, третя – ділянка 6-4 і т.д. Номери розрахункових ділянок схеми позначимо на рис.3.1 номерами в кружках. У майбутніх розрахунках усі параметри відхідних димових газів на розрахункових ділянках будемо записувати з індексами відповідних ділянок. Наприклад:  $V_1$  – витрата відхідних димових газів на розрахунковій ділянці 1 при їх середній температурі;  $V_{1к}$  – витрата димових газів на ділянці 1 при їх температурі в кінці ділянки ( $V_{1н}$  – на початку ділянки);  $t_1$  – температура відхідних димових газів на середині ділянки 1 ( $t_{1н}$  – на початку ділянки,  $t_{1к}$  – в кінці ділянки ) і т.д.

Витрати тиску на тертя будемо позначати  $P_{mp}$  з відповідним позначенням номера ділянки чи газоходу. Наприклад,  $P_{1mp}$  – втрати тиску на тертя на ділянці 1;  $P_{mp K2-ДТ}$  – втрата тиску у димоході  $K2-ДТ$ ;  $\Delta P_{mp K2-ДТ}^{заг}$  – загальні втрати тиску на тертя у димоході  $K2-ДТ$ .

### 3.3.1 Витрата димових газів за нормальних умов у димоході $K2-ДТ$

Витрата димових газів на першій та другій ділянці

$$V_1^{h,y} = V_2^{h,y} = V_{ок} \cdot V_{np.32}^{\partial}, \quad (3.1)$$

$$V_1^{h,y} = V_2^{h,y} = 720 \cdot 13,44 = 9676,8 \text{ м}_n^3 / \text{год}$$

Витрата димових газів на п'ятій ділянці

$$V_5^{h,y} = V_{оц} \cdot V_{np.32}^{\partial}, \quad (3.2)$$

$$V_5^{h,y} = 280 \cdot 13,44 = 3763,2 \text{ м}_n^3 / \text{год}$$

Витрата димових газів на третій та четвертій ділянці

$$V_3^{h,y} = V_4^{h,y} = V_2^{h,y} + V_5^{h,y}, \quad (3.3)$$

$$V_3^{h,y} = V_4^{h,y} = 9678,8 + 3763,2 = 13440 \text{ м}_n^3 / \text{год}$$

### 3.3.2 Температури димових газів на відповідних ділянках газоходу

$$t_{1н} = t_{к} = 170 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$t_1 = t_{1н} - \frac{L_1 \cdot \Delta t}{2} = 170 - \frac{12 \cdot 1}{2} = 164 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$t_{1к} = t_{1н} - L_1 \cdot \Delta t = 170 - 12 \cdot 1 = 158 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$t_{2n} = t_{1k} = 158 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_{2n} - \frac{L_2 \cdot \Delta t}{2} = 158 - \frac{3 \cdot 1}{2} = 156,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{2k} = t_{2n} - L_2 \cdot \Delta t = 158 - 3 \cdot 1 = 155 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Для визначення температури відхідних димових газів на початку третьої ділянки складаємо рівняння теплового балансу

$$V_1^{n,y} = V_2^{n,y} = V_{ок} \cdot V_{np.зг}^o \cdot t_{2k} \cdot \bar{C}_{2k} + V_{оц} \cdot V_{np.зг}^o \cdot t_{5k} \cdot \bar{C}_{5k} = V_3^{n,y} \cdot t_{3n} \cdot \bar{C}_{3n}, \quad (3.4)$$

де  $\bar{C}_{2k}$ ,  $\bar{C}_{5k}$ ,  $\bar{C}_{3n}$  – середні ізобарні об'ємні теплоємності відхідних димових газів в інтервалі температур від  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$  до  $t_{2k}$ ,  $t_{5k}$ ,  $t_{3n}$  відповідно,  $\kappa\text{Дж}/(\text{M}_H^3 \cdot \text{K})$ . Визначаємо теплоємності з таблиці (додаток 1).

У рівнянні (1.4) невідомими величинами будуть: температура ( $t_{3n}$ ) та середня теплоємність ( $\bar{C}_{3n}$ ) суміші димових газів. Розв'язуємо таке рівняння методом послідовного наближення.

Визначаємо теплоємність відхідних димових газів в кінці другої та п'ятої ділянки димового тракту

$$\bar{C}_{2k} \Big|_0^{155} = \bar{C}_{CO_2} \cdot r_{CO_2}^k + \bar{C}_{O_2} \cdot r_{O_2}^k + \bar{C}_{N_2} \cdot r_{N_2}^k + \bar{C}_{H_2O} \cdot r_{H_2O}^k, \quad (3.5)$$

$$\bar{C}_{2k} \Big|_0^{155} = 1,7482 \cdot 0,049 + 1,3273 \cdot 0,139 + 1,3023 \cdot 0,756 + 1,5147 \cdot 0,056 = 1,3395 \frac{\kappa\text{Дж}}{\text{M}_H^3 \cdot \text{K}}$$

$$\bar{C}_{5k} \Big|_0^{498} = \bar{C}_{CO_2} \cdot r_{CO_2}^k + \bar{C}_{O_2} \cdot r_{O_2}^k + \bar{C}_{N_2} \cdot r_{N_2}^k + \bar{C}_{H_2O} \cdot r_{H_2O}^k, \quad (3.6)$$

$$\bar{C}_{5k} \Big|_0^{498} = 1,9876 \cdot 0,0784 + 1,3976 \cdot 0,0362 + 1,3321 \cdot 0,7124 + 1,5893 \cdot 0,173 = 1,4303 \frac{\kappa\text{Дж}}{\text{M}_H^3 \cdot \text{K}}$$

Підставимо всі відомі величини в рівняння (1.4)

$$720 \cdot 13,44 \cdot 155 \cdot 1,3395 + 280 \cdot 13,44 \cdot 498 \cdot 1,4303 = 13440 \cdot t_{3n} \cdot \bar{C}_{3n}$$

Після спрощення будемо мати

$$348,93 = t_{3n} \cdot \bar{C}_{3n}$$

Визначаємо об'ємні частки суміші відхідних димових газів після змішування, тобто на початку третьої ділянки

$$r_i^{сум} = \frac{r_i^k \cdot V_{ок} + r_i^H \cdot V_{оц}}{V_{ок} + V_{оц}}, \quad (3.7)$$

$$r_{CO_2}^{сум} = \frac{0,049 \cdot 720 + 0,0784 \cdot 280}{720 + 280} = 0,0572$$

$$r_{O_2}^{сум} = \frac{0,139 \cdot 720 + 0,036 \cdot 280}{720 + 280} = 0,1102$$

$$r_{N_2}^{сум} = \frac{0,756 \cdot 720 + 0,7124 \cdot 280}{720 + 280} = 0,7438$$

$$r_{H_2O}^{сум} = \frac{0,056 \cdot 720 + 0,173 \cdot 280}{720 + 280} = 0,0888$$

Перевіряємо правильність визначення об'ємних часток

$$\sum_{i=1}^4 r_i^{сум} = 0,0572 + 0,1102 + 0,7438 + 0,0888 = 1,0000$$

Отже, розрахунок продовжуємо. Задаємося температурою відхідних димових газів на початку третьої ділянки, та визначаємо середню ізобарну об'ємну теплоємність продуктів згоряння.

Приймаємо  $t'_{3n} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\bar{C}_{3n} \Big|_0^{200} = 1,7874 \cdot 0,0572 + 1,3038 \cdot 0,7438 + 1,3352 \cdot 0,1102 + 1,5224 \cdot 0,0888 = 1,3543 \frac{\text{кДж}}{\text{м}_n^3 \cdot \text{К}}$$

Визначаємо ентальпію відхідних продуктів згоряння палива

$$h' = t'_{3n} \cdot \bar{C}_{3n} = 200 \cdot 1,3543 = 270,86 \text{ кДж} / \text{м}_n^3$$

Так, як  $h' = 270,86 \text{ кДж} / \text{м}_n^3 < 348,93 \text{ кДж} / \text{м}_n^3$ , то ми задались більш низькою температурою відхідних продуктів згоряння палива, а тому приймаємо значення  $t''_{3n} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$  та повторюємо розрахунок

$$\bar{C}_{3n} \Big|_0^{300} = 1,8628 \cdot 0,0572 + 1,3110 \cdot 0,7438 + 1,3562 \cdot 0,1102 + 1,5425 \cdot 0,0888 = 1,3680 \frac{\text{кДж}}{\text{м}_n^3 \cdot \text{К}}$$

$$h'' = t''_{3n} \cdot \bar{C}_{3n} = 300 \cdot 1,3680 = 410,4 \text{ кДж} / \text{м}_n^3$$

Так, як  $h'' = 410,4 \text{ кДж} / \text{м}_n^3 > 348,93 \text{ кДж} / \text{м}_n^3$ , остаточно отримаємо

$$h' = 270,86 \text{ кДж} / \text{м}_n^3 < 348,93 \text{ кДж} / \text{м}_n^3 < 410,4 \text{ кДж} / \text{м}_n^3,$$

то значення температури на початку третьої ділянки визначаємо методом лінійного інтерполювання

$$t_{3n} = 200 + \frac{348,93 - 270,86}{410,4 - 270,86} \cdot 100 = 256 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температури відхідних продуктів згоряння палива на третій та четвертій ділянках

$$t_{3n} = 256 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_3 = t_{3n} - \frac{L_3 \cdot \Delta t}{2} = 256 - \frac{3 \cdot 1}{2} = 254,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{3\kappa} = t_{3n} - L_3 \cdot \Delta t = 256 - 3 \cdot 1 = 253 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{4n} = 253 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = t_{4n} - \frac{L_4 \cdot \Delta t}{2} = 253 - \frac{7 \cdot 1}{2} = 249,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{4\kappa} = t_{4n} - L_4 \cdot \Delta t = 253 - 7 \cdot 1 = 246 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура відхідних димових газів перед димовою трубою  $t_{4\kappa} = 246 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

### 3.3.3 Еквівалентні діаметри та площі поперечного перерізу газоходів

Еквівалентні діаметри газоходів:

– переріз  $A-A$

$$d_{\text{екв}}^{A-A} = \frac{4 \cdot (b \cdot a + \frac{\pi \cdot R^2}{2})}{2 \cdot b + a + \pi \cdot R}, \quad (3.8)$$

$$d_{\text{екв}}^{A-A} = \frac{4 \cdot \left( 0,5 \cdot 0,4 + \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{2} \right)}{2 \cdot 0,5 + 0,4 + 3,14 \cdot 0,2} = 0,518 \text{ м}$$

– переріз  $B-B$

$$d_{\text{екв}}^{B-B} = \frac{4 \cdot (l \cdot c + \frac{\pi \cdot R^2}{2})}{2 \cdot l + c + \pi \cdot R}, \quad (3.9)$$

$$d_{\text{екв}}^{B-B} = \frac{4 \cdot \left( 0,3 \cdot 0,4 + \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{2} \right)}{2 \cdot 0,3 + 0,4 + 3,14 \cdot 0,2} = 0,449 \text{ м}$$

Площі поперечного перерізу:

– переріз  $A-A$

$$F^{A-A} = b \cdot a + \frac{\pi \cdot R^2}{2}, \quad (3.10)$$

$$F^{A-A} = 0,5 \cdot 0,4 + \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{2} = 0,263 \text{ м}^2$$

– переріз B-B

$$F^{B-B} = l \cdot c + \frac{\pi \cdot R^2}{2}, \quad (3.11)$$

$$F^{B-B} = 0,3 \cdot 0,4 + \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{2} = 0,183 \text{ м}^2$$

3.3.4 Витрати продуктів згоряння палива за робочих умов на відповідних ділянках газоходів (при відповідних температурах)

$$V_i^{p.y} = V_i^{н.y} \cdot \frac{273,15 + t_i}{273,15}, \quad (3.12)$$

$$V_1^{p.y} = 9676,8 \cdot \frac{273,15 + 164}{273,15} = 15486,8 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$V_2^{p.y} = 9676,8 \cdot \frac{273,15 + 156,5}{273,15} = 15221,1 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$V_3^{p.y} = 13440 \cdot \frac{273,15 + 254,5}{273,15} = 25962,4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$V_4^{p.y} = 13440 \cdot \frac{273,15 + 249,5}{273,15} = 25716,3 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

3.3.5 Швидкість відхідних продуктів згоряння палива на розрахункових ділянках газоходу

$$W_i^{p.y} = \frac{V_i^{p.y}}{3600 \cdot F^i}, \quad (3.13)$$

$$W_1^{p.y} = \frac{15486,8}{3600 \cdot 0,183} = 23,51 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$W_2^{p.y} = \frac{15221,1}{3600 \cdot 0,183} = 23,10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$W_3^{p.y} = \frac{25962,4}{3600 \cdot 0,183} = 39,41 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$W_4^{p.y} = \frac{25716,3}{3600 \cdot 0,263} = 27,16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

### 3.3.6 Коефіцієнти кінематичної в'язкості відхідних димових газів

Коефіцієнти кінематичної в'язкості відхідних димових газів визначаємо за додатком 2 при відповідних значеннях температури для розрахункових ділянок газоходів

$$\begin{aligned}v_1^{p,y} &= v_1^{164^0C} = 28,75 \cdot 10^{-6} \frac{M^2}{c} \\v_2^{p,y} &= v_2^{156,5^0C} = 27,90 \cdot 10^{-6} \frac{M^2}{c} \\v_3^{p,y} &= v_3^{254,5^0C} = 39,89 \cdot 10^{-6} \frac{M^2}{c} \\v_4^{p,y} &= v_4^{249,5^0C} = 39,24 \cdot 10^{-6} \frac{M^2}{c}\end{aligned}$$

### 3.3.7 Критерій Рейнольдса на розрахункових ділянках

$$\begin{aligned}Re_i &= \frac{W_i^{p,y} \cdot d_{екв}^i}{v_i^{p,y}}, & (3.14) \\Re_1 &= \frac{23,51 \cdot 0,449}{28,75 \cdot 10^{-6}} = 367164,9 \\Re_2 &= \frac{23,10 \cdot 0,449}{27,90 \cdot 10^{-6}} = 371752,7 \\Re_3 &= \frac{39,41 \cdot 0,449}{39,89 \cdot 10^{-6}} = 443597,1 \\Re_4 &= \frac{27,16 \cdot 0,518}{39,24 \cdot 10^{-6}} = 358534,1\end{aligned}$$

### 3.3.8 Коефіцієнти гідравлічного опору на розрахункових ділянках

Коефіцієнти гідравлічного опору визначаються в залежності від значення критерію Рейнольда.

$$\text{При } Re \leq 2000 \quad \lambda = \frac{64}{Re}, \quad (3.15)$$

$$\text{При } 2000 < Re \leq 4000 \quad \lambda = 0,0025 \cdot \sqrt[3]{Re}, \quad (3.16)$$

При  $Re > 1 \cdot 10^4$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{K'_{екв}}{d^i_{екв}} + \frac{68,5}{Re} \right)^{0,25}, \quad (3.17)$$

де  $K'_{екв}$  – коефіцієнт абсолютної шорсткості внутрішньої поверхні газоходу (для газоходів виготовлених з цегли  $K'_{екв} = 0,1 \text{ см}$ , для газоходів виготовлених з листової сталі  $K'_{екв} = 0,01 \text{ см}$ ).

Значення еквівалентного діаметру газоходу у формулу (3.17) підставляється в сантиметрах.

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{44,9} + \frac{68,5}{367164,9} \right)^{0,25} = 0,02438$$

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{44,9} + \frac{68,5}{371752,7} \right)^{0,25} = 0,02437$$

$$\lambda_3 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{44,9} + \frac{68,5}{443597,1} \right)^{0,25} = 0,02430$$

$$\lambda_4 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{51,8} + \frac{68,5}{358534,1} \right)^{0,25} = 0,02361$$

### 3.3.9 Густина відхідних продуктів згоряння палива на розрахункових ділянках димоходу за нормальних та робочих умов

Густина відхідних продуктів згоряння палива на розрахункових ділянках за нормальних умов

$$\rho_i^{н.у} = \frac{1}{22,4} \sum_{i=1}^4 \mu_i \cdot r_i, \quad (3.18)$$

де  $\mu_i$  та  $r_i$  – відповідно значення молекулярної маси та об'ємна частка  $i$ -го компонента відхідних продуктів згоряння палива.

– для першої та другої розрахункової ділянки

$$\rho_{1,2}^{н.у} = \frac{1}{22,4} \cdot (44 \cdot 0,049 + 32 \cdot 0,139 + 28 \cdot 0,756 + 18 \cdot 0,056) = 1,2848 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

– для третьої та четвертої розрахункової ділянки

$$\rho_{3,4}^{н.у} = \frac{1}{22,4} \cdot (44 \cdot 0,0572 + 32 \cdot 0,1102 + 28 \cdot 0,7438 + 18 \cdot 0,0888) = 1,2709 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$



Густина відхідних продуктів згоряння палива на розрахункових ділянках за робочих умов

$$\rho_i^{p.y} = \rho_i^{u.y} \cdot \frac{273,15}{273,15 + t_i}, \quad (3.19)$$

$$\rho_1^{p.y} = 1,2848 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 164} = 0,8028 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_2^{p.y} = 1,2848 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 156,5} = 0,8168 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_3^{p.y} = 1,2709 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 254,5} = 0,6579 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_4^{p.y} = 1,2709 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 249,5} = 0,6642 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

3.3.10 Втрати тиску на подолання сил тертя на розрахункових ділянках димоходу

$$P_{mp.i} = \lambda_i \cdot \frac{L_i}{d_{екв}^i} \cdot \frac{W_i^2}{2} \cdot \rho_i^{p.y}, \quad (3.20)$$

$$P_{mp.1} = 0,02438 \cdot \frac{12}{0,449} \cdot \frac{23,51^2}{2} \cdot 0,8028 = 144,56 \text{ Па}$$

$$P_{mp.2} = 0,02437 \cdot \frac{3}{0,449} \cdot \frac{23,10^2}{2} \cdot 0,8168 = 35,48 \text{ Па}$$

$$P_{mp.3} = 0,0243 \cdot \frac{3}{0,449} \cdot \frac{39,41^2}{2} \cdot 0,6579 = 82,95 \text{ Па}$$

$$P_{mp.4} = 0,02361 \cdot \frac{7}{0,518} \cdot \frac{27,16^2}{2} \cdot 0,6642 = 78,16 \text{ Па}$$

Сумарні втрати тиску на подолання сил тертя в димоході К2-ДТ

$$P_{mp\text{ К2-ДТ}} = P_{mp.1} + P_{mp.2} + P_{mp.3} + P_{mp.4} = 144,56 + 35,48 + 82,95 + 78,16 = 341,15 \text{ Па}$$

3.3.11 Втрати тиску в димоході на подолання місцевих опорів

Пронумеруємо місцеві опори на рис.3.1 через  $M$ . Наприклад,  $M1$  – це перший місцевий опір,  $M2$  – другий місцевий опір і т.д

Позначимо витрати тиску на подолання місцевих опорів через  $P_m$ , тоді втрати тиску на подолання місцевих опорів на першому місцевому опорі буде позначатися  $P_{m1}$ , на другому –  $P_{m2}$  і т.д.

Опір  $M1$  – вихід відхідних димових газів від котла до димоходу  
Втрати тиску будуть визначатися за формулою

$$P_{m1} = \xi_1 \cdot \frac{W_{1n}^2}{2} \cdot \rho_{1n}, \quad (3.21)$$

де  $\xi_1$  – коефіцієнт місцевого опору,  $\xi_1 = 0,5$  [2].

$W_{1n}$  та  $\rho_{1n}$  – відповідно швидкість відхідних димових газів та їх густина на вході в димохід. Значення визначаємо аналогічно попереднім розрахункам з врахуванням температури відхідних димових газів.

$$t_{1n} = t_{\kappa} = 170 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{1n}^{p,y} = 9676,8 \cdot \frac{273,15 + 170}{273,15} = 15699,3 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$W_{1n}^{p,y} = \frac{15699,3}{3600 \cdot 0,183} = 23,83 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{1n}^{p,y} = 1,2848 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 170} = 0,7919 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$P_{m1} = 0,5 \cdot \frac{23,83^2}{2} \cdot 0,7919 = 112,42 \text{ Па}$$

Опір  $M2$  – поворот димоходу на кут  $A$

Втрати тиску будуть визначатися за формулою

$$P_{m2} = \xi_2 \cdot \frac{W_{2n}^2}{2} \cdot \rho_{2n}, \quad (3.22)$$

де  $W_{2n}$  та  $\rho_{2n}$  – відповідно швидкість відхідних димових газів та їх густина при повороті димоходу на кут  $A$  (на початку другої ділянки).

$\xi_2$  – коефіцієнт місцевого опору при повороті димоходу на кут  $A$

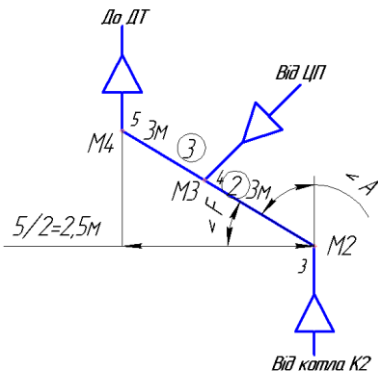
Для визначення кута повороту димоходу зобразимо рис.3.2.

$$\cos \angle F = \frac{L_4 / 2}{L_5} = \frac{2,5}{6} = 0,4167$$

$$\angle F = \arccos 0,4167 = 65,4^\circ$$

$$\angle A = 90^0 - \angle F = 90^0 - 65,4^0 = 24,6^0$$

$$\angle F = \arccos 0,4167 = 65,4^0$$



Згідно додатку 3 для шорсткої поверхні димоходу, при відношенні

$$\frac{h}{b} = \frac{l}{c} = \frac{0,3}{0,4} = 0,75$$

$$c = 1,08 \text{ ма } \xi_2' = 0,15$$

$$\xi_2 = \xi_2' \cdot c = 0,15 \cdot 1,08 = 0,162$$

$$t_{4n} = t_{3к} = 158^0\text{C}$$

$$V_{2n}^{p,y} = V_{1к}^{p,y} = 9676,8 \cdot \frac{273,15 + 158}{273,15} =$$

$$= 15274,2 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Рис. 3.2 До визначення  $\angle A$

$$W_{2n}^{p,y} = W_{1к}^{p,y} = \frac{15274,2}{3600 \cdot 0,183} = 23,18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{1n}^{p,y} = 1,2848 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 158} = 0,8140 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$P_{M2} = 0,162 \cdot \frac{23,18^2}{2} \cdot 0,8140 = 35,43 \text{ Па}$$

Опір  $M3$  – злиття потоку димових газів в димоході під кутом  $M$   
Втрати тиску будуть визначатися за формулою

$$P_{M3} = \xi_3 \cdot \frac{W_{3n}^2}{2} \cdot \rho_{3n}, \quad (3.23)$$

де  $W_{3n}$  та  $\rho_{3n}$  – відповідно швидкість відхідних димових газів та їх густина після злиття двох потоків відхідних димових газів у димоході на кут  $M$  (на початку третьої ділянки).

$\xi_3$  – коефіцієнт місцевого опору при злитті двох потоків відхідних димових газів у димоході, які розташовані  $V$  – подібно.

Для визначення кута злиття двох потоків відхідних димових газів у димоході, які розташовані  $V$  – подібно зобразимо рис.3.3.

$$\angle M = 180^0 - \angle A - \angle B = 180^0 - 24,6^0 - 45^0 = 110,4^0$$

Згідно додатку 5 визначаємо місцевий опір

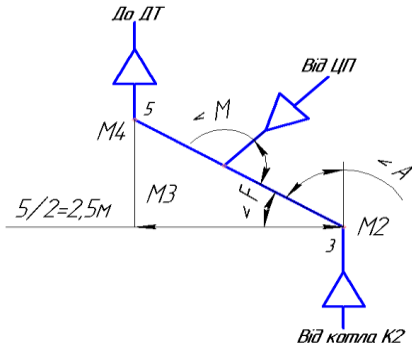


Рис. 3.3 До визначення  $\angle M$

$$\begin{aligned} \xi_3 &= 1,2 \\ t_{3n} &= 256^0 C \\ V_{3n}^{p,y} &= 13440 \cdot \frac{273,15 + 256}{273,15} = \\ &= 26036,2 \frac{M^3}{200} \\ W_{3n}^{p,y} &= \frac{26036,2}{3600 \cdot 0,183} = 39,52 \frac{M}{c} \\ \rho_{3n}^{p,y} &= 1,2709 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 256} = \\ &= 0,6560 \frac{K^2}{M^3} \end{aligned}$$

$$P_{M3} = 1,2 \cdot \frac{39,52^2}{2} \cdot 0,6560 = 614,74 \text{ Па}$$

Опір  $M4$  – поворот димоходу на кут  $D$  з одночасною зміною площі поперечного перерізу димоходу  
Втрати тиску будуть визначатися за формулою

$$P_{M4} = \xi_4 \cdot \frac{W_{4n}^2}{2} \cdot \rho_{4n}, \quad (3.24)$$

де  $W_{4n}$  та  $\rho_{4n}$  – відповідно швидкість відхідних димових газів та їх густина при повороті димоходу на кут  $D$  (на початку четвертої ділянки).  
 $\xi_4$  – коефіцієнт місцевого опору при повороті димоходу на кут  $D$  та раптовому розширенні димоходу.

Для визначення кута повороту димоходу зобразимо рис.3.4.

$$\sin \angle D = \frac{L_4/2}{L_5} = \frac{2,5}{6} = 0,4167$$

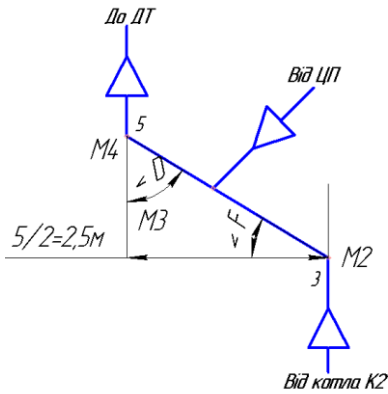
$$\angle D = \arcsin 0,4167 = 24,6^0$$

кут  $D$  можна також визначити як

$$\angle D = 180^0 - \angle F - 90^0 = 180^0 - 65,4^0 - 90^0 = 26,4^0$$

Коефіцієнт місцевого опору димоходу можна визначити, як

$$\xi_4 = f\left(\frac{W_{4n}^{p,y}}{W_{3к}^{p,y}}\right)$$



$$\frac{W_{4n}^{p,y}}{W_{3к}^{p,y}} = \frac{27,34}{32,3} = 0,696$$

$$\xi_4 = 1,994 [2].$$

$$t_{4n} = t_{3к} = 253 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{4n}^{p,y} = V_{3к}^{p,y} = 13440 \cdot \frac{273,15 + 253}{273,15} =$$

$$= 25888,5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$W_{3к}^{p,y} = \frac{25888,5}{3600 \cdot 0,183} = 32,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Рис.3.4 До визначення  $\angle D$

$$W_{4n}^{p,y} = \frac{25888,5}{3600 \cdot 0,263} = 27,34 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{4n}^{p,y} = \rho_{3к}^{p,y} = 1,2709 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 253} = 0,6598 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$P_{m1} = 1,994 \cdot \frac{27,34^2}{2} \cdot 0,6598 = 491,71 \text{ Па}$$

Опір  $M5$  – вхід димоходу до димової труби (раптове розширення потоку відхідних димових газів).

Втрати тиску будуть визначатися за формулою

$$P_{m5} = \xi_5 \cdot \frac{W_{4к}^2}{2} \cdot \rho_{4к}, \quad (1.25)$$

де  $W_{4к}$  та  $\rho_{4к}$  – відповідно швидкість відхідних димових газів та їх густина при вході у димову трубу (в кінці четвертої ділянки).

$\xi_4$  – коефіцієнт місцевого опору при раптовому розширенні потоку відхідних димових газів.

Коефіцієнт місцевого опору димоходу

$$\xi_5 = \left(1 - \frac{F^{A-A}}{F^{ДТ}}\right)^2$$

Оскільки  $F^{ДТ} \gg F^{A-A}$ , то  $\xi_5 = 1$

$$t_{4к} = 246 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$V_{4к}^{p.y} = 13440 \cdot \frac{273,15 + 246}{273,15} = 25544,1 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$W_{4к}^{p.y} = \frac{25544,1}{3600 \cdot 0,263} = 26,98 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{4к}^{p.y} = 1,2709 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 246} = 0,6687 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$P_{м5} = 1 \cdot \frac{26,98^2}{2} \cdot 0,6687 = 243,38 \text{ Па}$$

Сумарні втрати тиску на подолання місцевих опорів в димоході К2-ДТ  
 $P_{мК2-ДТ} = P_{м1} + P_{м2} + P_{м3} + P_{м4} + P_{м5} = 112,42 + 35,43 + 614,74 + 491,71 +$   
 $+ 243,38 = 1497,68 \text{ Па}$

3.3.12 Сумарні втрати тиску на подолання сил тертя та місцевих опорів в димоході К2 – ДТ

$$P_{загК2-ДТ} = P_{трК2-ДТ} + P_{мК2-ДТ} = 341,15 + 1497,68 = 1838,83 \text{ Па}$$

### 3.4. Аеродинамічний розрахунок димоходу ЦП – ДТ

3.3.1 Витрата димових газів за нормальних умов у димоході ЦП – ДТ

Витрата димових газів на п'ятій, шостій та сьомій ділянці

$$V_5^{н.y} = V_6^{н.y} = V_7^{н.y} = 280 \cdot 13,44 = 3763,2 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

3.3.2 Температури димових газів на відповідних ділянках газоходу

$$t_{7н} = t_{ц} = 520 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{7} = t_{7н} - \frac{L_9 \cdot \Delta t}{2} = 520 - \frac{7 \cdot 1}{2} = 516,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{7к} = t_{7н} - L_9 \cdot \Delta t = 520 - 7 \cdot 1 = 513 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{6н} = t_{7к} = 513 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_6 = t_{6n} - \frac{L_8 \cdot \Delta t}{2} = 513 - \frac{7 \cdot 1}{2} = 509,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{6\kappa} = t_{6n} - L_8 \cdot \Delta t = 513 - 7 \cdot 1 = 506 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{5n} = t_{6\kappa} = 506 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_5 = t_{5n} - \frac{L_6 \cdot \Delta t}{2} = 506 - \frac{8 \cdot 1}{2} = 502 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{5\kappa} = t_{5n} - L_6 \cdot \Delta t = 506 - 8 \cdot 1 = 498 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.3.3 *Витрати продуктів згоряння палива за робочих умов на відповідних ділянках газоходів (при відповідних температурах)*

$$V_7^{p.y} = 3763,2 \cdot \frac{273,15 + 516,5}{273,15} = 10879 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$V_6^{p.y} = 3763,2 \cdot \frac{273,15 + 509,5}{273,15} = 10782,6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$V_5^{p.y} = 3763,2 \cdot \frac{273,15 + 502}{273,15} = 10679,3 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

3.3.4 *Швидкість відхідних продуктів згоряння палива на розрахункових ділянках газоходу*

$$W_7^{p.y} = \frac{10879}{3600 \cdot 0,183} = 16,51 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$W_6^{p.y} = \frac{10782,6}{3600 \cdot 0,183} = 16,37 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$W_5^{p.y} = \frac{10679,3}{3600 \cdot 0,183} = 16,21 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

3.3.5 *Коефіцієнти кінематичної в'язкості відхідних димових газів*

$$\nu_7^{p.y} = \nu_7^{516,5^\circ\text{C}} = 79,16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\nu_6^{p.y} = \nu_6^{509,5^\circ\text{C}} = 77,94 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$v_5^{p,y} = v_5^{502^0 C} = 76,65 \cdot 10^{-6} \frac{M^2}{c}$$

### 3.3.6 Критерій Рейнольдса на розрахункових ділянках

$$Re_7 = \frac{16,51 \cdot 0,449}{79,16 \cdot 10^{-6}} = 93645,7$$

$$Re_6 = \frac{16,37 \cdot 0,449}{77,94 \cdot 10^{-6}} = 94305$$

$$Re_5 = \frac{16,21 \cdot 0,449}{76,65 \cdot 10^{-6}} = 94954,9$$

### 3.3.7 Коефіцієнти гідравлічного опору на розрахункових ділянках

$$\lambda_7 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{44,9} + \frac{68,5}{93645,7} \right)^{0,25} = 0,02565$$

$$\lambda_6 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{44,9} + \frac{68,5}{94305} \right)^{0,25} = 0,02564$$

$$\lambda_5 = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{44,9} + \frac{68,5}{94954,9} \right)^{0,25} = 0,02563$$

### 3.3.8 Густина відхідних продуктів згоряння палива на розрахункових ділянках димоходу за нормальних та робочих умов

Для п'ятої, шостої та сьомої розрахункової ділянки

$$\rho_{5,6,7}^{n,y} = \frac{1}{22,4} \cdot (44 \cdot 0,0784 + 32 \cdot 0,0362 + 28 \cdot 0,7124 + 18 \cdot 0,173) = 1,2352 \frac{K\mathcal{Z}}{M_n^3}$$

Густина відхідних продуктів згоряння палива на розрахункових ділянках за робочих умов

$$\rho_7^{p,y} = 1,2352 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 516,5} = 0,4273 \frac{K\mathcal{Z}}{M^3}$$

$$\rho_6^{p,y} = 1,2352 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 509,5} = 0,4311 \frac{K\mathcal{Z}}{M^3}$$

$$\rho_5^{p,y} = 1,2352 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 502} = 0,4353 \frac{K\mathcal{Z}}{M^3}$$



### 3.3.9 Втрати тиску на подолання сил тертя на розрахункових ділянках димоходу

$$P_{mp.7} = 0,02565 \cdot \frac{7}{0,449} \cdot \frac{16,51^2}{2} \cdot 0,4273 = 23,29 \text{ Па}$$

$$P_{mp.6} = 0,02564 \cdot \frac{7}{0,449} \cdot \frac{16,37^2}{2} \cdot 0,4311 = 23,09 \text{ Па}$$

$$P_{mp.5} = 0,02563 \cdot \frac{8}{0,449} \cdot \frac{16,21^2}{2} \cdot 0,4353 = 26,12 \text{ Па}$$

Сумарні втрати тиску на подолання сил тертя в димоході ЦП-ДТ

$$P_{mp.ЦП-ДТ} = P_{mp.3} + P_{mp.4} + P_{mp.5} + P_{mp.6} + P_{mp.7} = 82,95 + 78,16 + 26,12 + 23,09 + 23,29 = 233,61 \text{ Па}$$

### 3.3.10 Втрати тиску в димоході на подолання місцевих опорів

Опір М6 – вихід відхідних димових газів від циклонної печі до димоходу (рис.3.1).

Втрати тиску будуть визначатися за формулою

$$P_{M6} = \xi_6 \cdot \frac{W_{7n}^2}{2} \cdot \rho_{7n}, \quad (1.26)$$

де  $\xi_6$  – коефіцієнт місцевого опору,  $\xi_1 = 0,5$  [2].

$W_{7n}$  та  $\rho_{7n}$  – відповідно швидкість відхідних димових газів та їх густина на вході в димохід. Значення визначаємо аналогічно попереднім розрахункам з врахуванням температури відхідних димових газів.

$$t_{7n} = t_{yn} = 520 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{7n}^{p,y} = 3763,2 \cdot \frac{273,15 + 520}{273,15} = 10927,3 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$W_{7n}^{p,y} = \frac{10927,3}{3600 \cdot 0,183} = 16,59 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{7n}^{p,y} = 1,2352 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 520} = 0,4254 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$P_{M7} = 0,5 \cdot \frac{16,59^2}{2} \cdot 0,4254 = 29,27 \text{ Па}$$

Опір  $M7$  – поворот димоходу на кут  $C$  (рис.3.1).

Втрати тиску будуть визначатися за формулою

$$P_{M7} = \xi_7 \cdot \frac{W_{6n}^2}{2} \cdot \rho_{6n}, \quad (1.27)$$

де  $W_{6n}$  та  $\rho_{6n}$  – відповідно швидкість відхідних димових газів та їх густина при повороті димоходу на кут  $C$  (на початку шостої ділянки).

$\xi_7$  – коефіцієнт місцевого опору при повороті димоходу на кут  $C$

Згідно додатку 3 для шорсткої поверхні димоходу, при відношенні

$$\frac{h}{b} = \frac{l}{c} = \frac{0,3}{0,4} = 0,75$$

$$c = 1,08 \text{ м} \quad \xi_2' = 0,41$$

$$\xi_7 = \xi_7' \cdot c = 0,41 \cdot 1,08 = 0,443$$

$$t_{6n} = t_{7к} = 513 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{6n}^{p.y} = V_{7к}^{p.y} = 3763,2 \cdot \frac{273,15 + 513}{273,15} = 10830,8 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$W_{6n}^{p.y} = W_{7к}^{p.y} = \frac{10830,8}{3600 \cdot 0,183} = 16,44 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{6n}^{p.y} = \rho_{7к}^{p.y} = 1,2352 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 513} = 0,4292 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$P_{M7} = 0,443 \cdot \frac{16,44^2}{2} \cdot 0,4292 = 24,89 \text{ Па}$$

Опір  $M8$  – поворот димоходу на кут  $B$  (рис.3.1).

Втрати тиску будуть визначатися за формулою

$$P_{M8} = \xi_8 \cdot \frac{W_{5n}^2}{2} \cdot \rho_{5n}, \quad (1.27)$$

де  $W_{5n}$  та  $\rho_{5n}$  – відповідно швидкість відхідних димових газів та їх густина при повороті димоходу на кут  $C$  (на початку шостої ділянки).  $\xi_8$  – коефіцієнт місцевого опору при повороті димоходу на кут  $B$ .

Так, як кути повороту димоходу однакові ( $\angle B = \angle C = 45^\circ$ ), та однакові геометричні розміри димоходів, то будуть однаковими і коефіцієнти місцевого опору ( $\xi_7 = \xi_8 = 0,443$ ).

$$t_{5n} = t_{6к} = 506 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{5n}^{p.y} = V_{6к}^{p.y} = 3763,2 \cdot \frac{273,15 + 506}{273,15} = 10734,4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$W_{5n}^{p.y} = W_{6к}^{p.y} = \frac{10734,4}{3600 \cdot 0,183} = 16,29 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\rho_{5n}^{p.y} = \rho_{6к}^{p.y} = 1,2352 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 506} = 0,4330 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$P_{м8} = 0,443 \cdot \frac{16,29^2}{2} \cdot 0,4330 = 25,45 \text{ Па}$$

Сумарні втрати тиску на подолання місцевих опорів в димоході ЦП– ДТ

$$P_{мЦП-ДТ} = P_{м.3} + P_{м.4} + P_{м.5} + P_{м.6} + P_{м.7} + P_{м.8} = 614,74 + 491,71 + 243,38 + 29,27 + 24,89 + 25,45 = 1429,44 \text{ Па}$$

3.3.11 Сумарні втрати тиску на подолання сил тертя та місцевих опорів в димоході ЦП – ДТ

$$P_{загЦП-ДТ} = P_{трЦП-ДТ} + P_{мЦП-ДТ} = 233,61 + 1429,44 = 1663,05 \text{ Па}$$

### 3.4 Аналіз результатів аеродинамічного розрахунку

Порівнюємо загальні втрати тиску в димоходах  $K2 - ДТ$  та  $ЦП - ДТ$ , так як  $P_{загK2-ДТ} = 1838,83 \text{ Па} > P_{загЦП-ДТ} = 1663,05 \text{ Па}$ , то подальші розрахунки будемо проводити для димоходу який має більший аеродинамічний опір, тобто для димоходу  $K2 - ДТ$ . У зв'язку з тим, що загальний аеродинамічний опір димоходу перевищує  $300 \text{ Па}$ , то для

подолання цього опору перед димовою трубою необхідно встановити димосос, який має подолати  $P_D = 1588,83 \text{ Па}$ , а димова труба  $P_{DT} = 250 \text{ Па}$ .

### 3.5 Вибір димососа (вентилятора)

Для вибору димососу необхідно знати витрату відхідних димових газів за нормальних умов ( $V^{n,y} = V_4^{n,y} = 13440 \text{ м}_n^3 / \text{год}$ ), надлишковий тиск ( $P_D = 1588,83 \text{ Па}$  або  $161,96 \text{ мм.рт.ст.}$ ). Оскільки надлишковий тиск не перевищує  $300 \text{ мм.рт.ст.}$ , то в вибираємо димосос середнього тиску (додаток 8).

За номограмою вибираємо димосос ВРН №6, для якого значення к.к.д.  $\eta = 0,642$ , число  $A = 6515$ .

Визначаємо число обертів вентилятора

$$n = \frac{A}{d}, \quad (1.28)$$

де  $d$  – діаметр робочого колеса вентилятора,  $\text{дм}$ . Чисельно рівний номеру вентилятора.

$$n = \frac{6515}{6} = 1085,8 \text{ об / хв}$$

Потужність на валу димососа

$$N = \frac{V^{n,y} \cdot P_D \cdot K}{3600 \cdot 10^3 \cdot \eta}, \quad (1.29)$$

де  $K$  – коефіцієнт який враховує з'єднання валу електродвигуна з валом димососа, при безпосередньому з'єднанні  $K = 1$ .

$$N = \frac{13440 \cdot 1588,83 \cdot 1}{3600 \cdot 10^3 \cdot 0,642} = 9,24 \text{ кВт}$$

Встановлена потужність електродвигуна димососа

$$N_{вст} = N \cdot K', \quad (1.30)$$

де  $K'$  – коефіцієнт запасу потужності (якщо  $N \leq 0,5 \text{ кВт}$  то  $K' = 1,5$ ; при  $N \leq 1 \text{ кВт}$ ,  $K' = 1,3$ ; при  $N \leq 2 \text{ кВт}$ ,  $K' = 1,2$ ; при  $N \leq 5 \text{ кВт}$ ,  $K' = 1,15$ ; при  $N > 5 \text{ кВт}$ ,  $K' = 1,5$ ).

$$N_{\text{вст}} = 9,24 \cdot 1,1 = 10,16 \text{ кВт}$$

### 3.6 Розрахунок висоти димової труби

Вихідними даними для вибору димососу є: витрата відхідних димових газів за нормальних умов ( $V^{н.у} = V_4^{н.у} = 13440 \text{ м}^3 / \text{год}$ ), аеродинамічний опір димового тракту, який має подолати димова труба ( $P_{\text{ДТ}} = 250 \text{ Па}$ ), об'ємні частки відхідних продуктів згоряння перед димовою трубою ( $r_{\text{CO}_2} = 0,0572$ ,  $r_{\text{O}_2} = 0,1102$ ,  $r_{\text{N}_2} = 0,7438$ ,  $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,0888$ ), температура відхідних димових газів перед димовою трубою (в кінці четвертої ділянки  $t_{4к} = 246 \text{ }^\circ\text{C}$ ), температура зовнішнього повітря ( $t_{\text{нов}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Висота димової труби визначається за залежністю

$$H = \frac{h'_{\text{мп}} + \rho_z^0 \cdot \left( \frac{\omega_{02}^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot t_2^2) - \frac{\omega_{01}^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot t_1^2) \right)}{g \cdot \left( \frac{\rho_{\text{нов}}^0}{1 + \alpha \cdot t_{\text{нов}}} - \frac{\rho_z^0}{1 + \alpha \cdot t_z} \right) \cdot \frac{P_0}{760} - \frac{2 \cdot \lambda}{d_{\text{cp}}} \cdot \rho_z^0 \cdot \left( \frac{\omega_{01}^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot t_1^2) + \frac{\omega_{02}^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot t_2^2) \right)}, \quad (1.31)$$

де  $h'_{\text{мп}}$  – коефіцієнт опору димового тракту з врахуванням запасу, Па..

$\rho_z^0$  та  $\rho_{\text{нов}}^0$  – густина відповідно димових газів та повітря за нормальних термодинамічних умов,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$\omega_{01}$  та  $\omega_{02}$  – приведенні до нормальних умов швидкості димових газів відповідно біля основи димової труби та на виході з неї,  $\text{м}/\text{с}$ .

$t_1^2$  та  $t_2^2$  – температура димових газів відповідно біля основи димової труби та на виході з неї,  $^\circ\text{C}$ .

$P_0$  – барометричний тиск повітря,  $\text{мм.рт.ст.}$

$\lambda$  – коефіцієнт тертя;

$d_{\text{cp}}$  – середній діаметр димової труби,  $\text{м}$ .

$t_{\text{нов}}$  – середня по висоті димової труби температура навколишнього повітря,  $^\circ\text{C}$ .

$$t_{нов} = t'_{нов} - \frac{\sqrt{H}}{2}, \quad (1.32)$$

де  $t'_{нов}$  – температура повітря біля основи димової труби, яка залежить від кліматичних умов місцевості: для помірного клімату  $t'_{нов} = 5..20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; для жаркого клімату  $t'_{нов} = 15..25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; для холодного клімату  $t'_{нов} = -10..+10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$t_2$  – середня по висоті димової труби температура відхідних димових газів,  $^{\circ}\text{C}$ . Дана температура визначається з врахуванням падіння температури на одному погонному метрі висоти димової труби на  $1^{\circ}\text{C}$  для цегляних труб та на  $3-4^{\circ}\text{C}$  для металевих труб.

Швидкість димових газів на виході з димової труби приймають рівною  $\omega_{02} = 2,5..4,0 \text{ м/с}$ .

За цією величиною і за температурою димових газів на виході з димової труби  $t_2^2$  визначають діаметр гирла димової труби, при цьому з умов будівельної міцності мінімальний діаметр гирла димової труби повинен бути рівним  $d \geq 0,8 \text{ м}$ , діаметр основи димової труби приймають рівним  $1,5 \cdot d$  гирла.

При розрахунку димової труби, яка працює на декілька установок, вихідною величиною опору є найбільший опір димового тракту, а не сума опорів димових трактів всіх установок.

Згідно санітарно-гігієнічних вимог України, мінімальна висота димової труби повинна бути більша  $16 \text{ м}$ , якщо димова труба розташована в радіусі  $100 \text{ м}$  від житлових будинків, то її висота приймається на  $5 \text{ м}$  вище даху найвищої будівлі.

Згідно санітарно-гігієнічних вимог проектування промислових підприємств, висота димової труби приймається більше  $20 \text{ м}$ , якщо витрата палива в установці складає до  $5 \text{ м}^3/\text{год}$  та більше  $100 \text{ м}^3$  якщо витрата палива в установці складає  $100..200 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Задаємось висотою димової труби, (додаток 10. додаток 11).

$$H = 58 \text{ м}$$

Коефіцієнт опору димового тракту з врахуванням запасу

$$h'_{mp} = 1,2 \cdot P_{ДТ} = 1,2 \cdot 250 = 300 \text{ Па}$$

Середня по висоті димової труби температура навколишнього повітря

$$t_{\text{ног}} = 20 - \frac{\sqrt{58}}{2} = 16,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня по висоті димової труби температура димових газів

$$t_2 = t_1^2 - \frac{H}{2} = 246 - \frac{58}{2} = 217 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура димових газів на виході з гирла димової труби

$$t_2^2 = t_1^2 - H = 246 - 58 = 188 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Густина відхідних димових газів за нормальних термодинамічних умов

$$\rho_2^0 = \rho_{3,4}^{н.у} = \frac{1}{22,4} \cdot (44 \cdot 0,0572 + 32 \cdot 0,1102 + 28 \cdot 0,7438 + 18 \cdot 0,0888) = 1,2709 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Приймаємо швидкість димових газів на виході з димової труби рівною

$$\omega_{02} = 3,0 \text{ м/с}$$

Площа поперечного перерізу гирла димової труби

$$f = \frac{V^{н.у}}{3600 \cdot \omega_{02}} = \frac{13440}{3600 \cdot 3} = 1,244 \text{ м}^2$$

Діаметр гирла димової труби

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,244}{3,14}} = 1,259 \text{ м}$$

Діаметр основи димової труби

$$d_o = 1,5 \cdot d_2 = 1,5 \cdot 1,259 = 1,89 \text{ м}$$

Швидкість димових газів біля основи димової труби за нормальних термодинамічних умов

$$\omega_{01} = \frac{4 \cdot V^{н.у}}{\pi \cdot d_o^2 \cdot 3600} = \frac{4 \cdot 13440}{3,14 \cdot 1,89^2 \cdot 3600} = 1,333 \text{ м/с}$$

Середній діаметр димової труби

$$d_{\text{сер}} = 0,5 \cdot (d_2 + d_o) = 0,5 \cdot (1,259 + 1,89) = 1,574 \text{ м}$$

Перевіряємо прийняту швидкість димових газів на виході з димової труби

$$\omega_{02} = \frac{4 \cdot V_{np.32}^{n,y}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot 3600} = \frac{4 \cdot 13440}{3,14 \cdot 1,259^2 \cdot 3600} = 3,0 \text{ м/с}$$

Середня швидкість димових газів у димовій трубі за робочих умов

$$\omega_{сер} = \frac{\omega_{01} + \omega_{02}}{2} \cdot \frac{273,15 + t_e}{273} = \frac{1,333 + 3}{2} \cdot \frac{273,15 + 217}{273,15} = 3,889 \text{ м/с}$$

Визначаємо за таблицями кінематичну в'язкість димових газів при їх середній температурі по висоті димової труби

$$\nu^{217^{\circ}\text{C}} = 35,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Критерій Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{\omega_{сер} \cdot d_{cp}}{\nu} = \frac{3,889 \cdot 1,574}{35,01 \cdot 10^{-6}} = 174843,9$$

Так як  $\text{Re} > 1 \cdot 10^4$ , то коефіцієнт тертя рівний

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{157,4} + \frac{68,5}{174843,9} \right)^{0,25} = 0,01968$$

Визначаємо складові які входять у формулу для визначення висоти димової труби

$$(1 + \alpha \cdot t_2^r) = 1 + \frac{188}{273,15} = 1,688 \qquad (1 + \alpha \cdot t_1^r) = 1 + \frac{246}{273,15} = 1,901$$

$$(1 + \alpha \cdot t_B) = 1 + \frac{16,19}{273,15} = 1,059 \qquad (1 + \alpha \cdot t_r) = 1 + \frac{217}{273,15} = 1,794$$

Висота димової труби

$$H = \frac{300 + 1,2706 \cdot \left[ \frac{3^2}{2} \cdot 1,688 - \frac{1,333^2}{2} \cdot 1,901 \right]}{9,81 \cdot \left( \frac{1,293}{1,059} - \frac{1,2706}{1,794} \right) \cdot \frac{770}{760} - \frac{2 \cdot 0,01968}{1,574} \cdot 1,2706 \cdot \left[ \frac{1,333^2}{2} \cdot 1,901 - \frac{3^2}{2} \cdot 1,688 \right]} = 58,24 \text{ м}$$

Похибка між прийнятим та визначеним значенням висоти димової труби

$$\Delta H = \frac{58 - 58,24}{58,24} \cdot 100\% = 0,41\% < 0,5\%$$



Так як розрахункове значення висоти димової труби не відрізняється від заданого більше ніж на 0,5% то перерахунок робити непотрібно. Остаточню приймаємо висоту димової труби рівною 58 м.

Перевіримо димову трубу на відсутність надлишкового тиску всередині димової труби. При наявності всередині димової труби надлишкового статистичного тиску, димові гази можуть проходити крізь цегляну чи залізобетонну стінку труби назовні, руйнуючі її.

Тому діаметр вихідного перерізу цегляних і залізобетонних димових труб перевіряється на умову відсутності надлишкового тиску всередині труби, який забезпечується коли  $R \leq 10$ . Проведемо перевірку даної труби

$$R = \frac{(\lambda + 8 \cdot i) \cdot h_{\text{дин}}}{(\rho_{\text{нов}} - \rho_2) \cdot d_2^2}, \quad (1.33)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору тертя;

$i$  – нахил внутрішньої поверхні труби,  $i = 0,02$ ; [3]

$h_{\text{дин}}$  – динамічний тиск димових газів на виході з труби

$$h_{\text{дин}} = \frac{\rho_2 \cdot \omega_{02}^2}{2}, \quad (1.34)$$

$\rho_2$  – густина димових газів на виході з димової труби,

$$\rho_2 = 1,2709 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 188} = 0,7528 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{\text{нов}} = 1,293 \cdot \frac{273,15}{273,15 + 12,4} = 1,2369 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$h_{\text{дин}} = \frac{0,7528 \cdot 3^2}{2} = 3,39 \text{ Па};$$

$$R = \frac{(0,01968 + 8 \cdot 0,02) \cdot 3,39}{(1,2369 - 0,7528) \cdot 1,259} = 5,86 \leq 10.$$

Так як умова  $R \leq 10$  виконується, то надлишковий тиск всередині труби – відсутній, отже наявна димова труба, задовольняє всім вимогам.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Краснющенков Е. А., Сукомел А. С. Задачник по теплопередаче. М. : Энергия, 1968. 264 с.
2. Расчет нагревательных и термических печей / Василькова С. В., Генкина М. М., Гусовский В. Л. и др. М. : Metallurgiya, 1983. 482 с.
3. Алабовський О. М., Боженко М. Ф., Хоренженко Ю. В. Проектування котельень промислових підприємств. Київ : Вища школа, 1992. 207 с.
4. Кривандин В. А., Филимонов Ю. П. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Т.1. М. : Metallurgiya, 1986. 479 с.
5. Ткаченко О. О. Високотемпературні процеси та установки. Київ : А.С.К. 2005. 480 с.
6. Расчеты нагревательных печей / Аверин С. И. и др. Київ : Техніка, 1969. 540 с.
7. Мастрюков Б. С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Том 2. М. : Metallurgiya, 1978. 212 с.

## Додатки

**Додаток 1.** Середні ізобарні об'ємні теплоємності газів

t, °C	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Повітря
0	1,5999	1,2988	1,3059	1,4943	1,2971
100	1,7003	1,3005	1,3177	1,5052	1,3005
200	1,7874	1,3038	1,3352	1,5224	1,3072
300	1,8628	1,3110	1,3562	1,5425	1,3172
400	1,9298	1,3206	1,3775	1,5655	1,3290
500	1,9888	1,3323	1,3980	1,5898	1,3428
600	2,0412	1,3453	1,4168	1,6149	1,3566
700	2,0885	1,3587	1,4345	1,6413	1,3708
800	2,1312	1,3717	1,4499	1,6681	1,3842
900	2,1693	1,3846	1,4646	1,6957	1,3976
1000	2,2036	1,3972	1,4776	1,7230	1,4098
1100	2,2350	1,4089	1,4893	1,7502	1,4215
1200	2,2639	1,4202	1,5006	1,7770	1,4328
1300	2,2899	1,4307	1,5107	1,8029	1,4550
1400	2,3137	1,4408	1,5203	1,8280	1,4642
1500	2,3355	1,4499	1,5295	1,8528	1,4730
1600	2,3556	1,4588	1,5379	1,8762	1,4809
1700	2,3745	1,4671	1,5463	1,8996	1,4889
1800	2,3916	1,4747	1,5542	1,9214	1,4960
1900	2,4075	1,4822	1,5618	1,9424	1,5031
2000	2,4222	1,4889	1,5693	1,9629	1,5094
2100	2,4360	1,4956	1,5759	1,9825	1,5174
2200	2,4486	1,5019	1,5831	2,0010	1,5220
2300	2,4603	1,5073	1,5898	2,0200	1,5274
2400	2,4712	1,5128	1,5965	2,0366	1,5341
2500	2,4912	1,5178	1,6027	2,0529	

**Додаток 2.** Коефіцієнти кінематичної в'язкості ( $m^2/s$ ) димових газів ( $B=760\text{ммHg}$ ;  $P_{CO_2}=0,13$ ;  $P_{H_2O}=0,11$ ;  $P_{N_2}=0,76$ )

$t, ^\circ\text{C}$	0	100	200	300	400	500
$\nu \cdot 10^6$	12,20	21,54	32,80	45,81	60,38	76,30
$t, ^\circ\text{C}$	600	700	800	900	1000	1100
$\nu \cdot 10^6$	93,61	112,1	131,8	152,5	174,3	197,1

**Додаток 3.** Коефіцієнти місцевих опорів газоходу на кут  $\varphi$

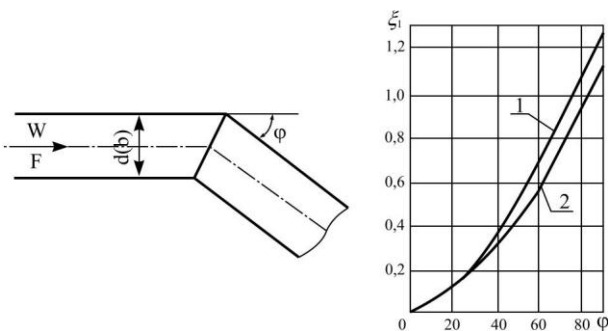


Рис. 1. Для кутів від 0 до 90 С (1-шорстка поверхня, 2-гладка поверхня)

Для кутів  $45^\circ$  та  $90^\circ$

$\xi_1$		
Стінки		
$\varphi$	шорсткі	гладкі
$45^\circ$	0,41	0,34
$90^\circ$	1,3	1,15

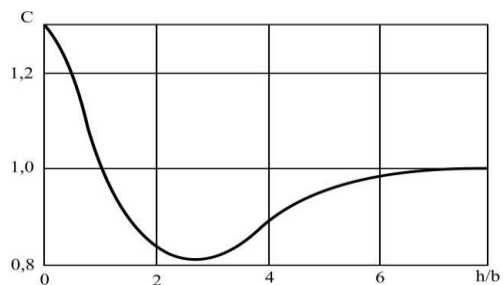


Рис.2. При прямокутному перерізі,  $h \neq b$   $\xi_1 = \xi'_1 \cdot c$

**Додаток 4.** Коефіцієнти місцевих опорів газоходу при злитті потоків диму під різними кутами (прямий потік та бокове відгалуження)

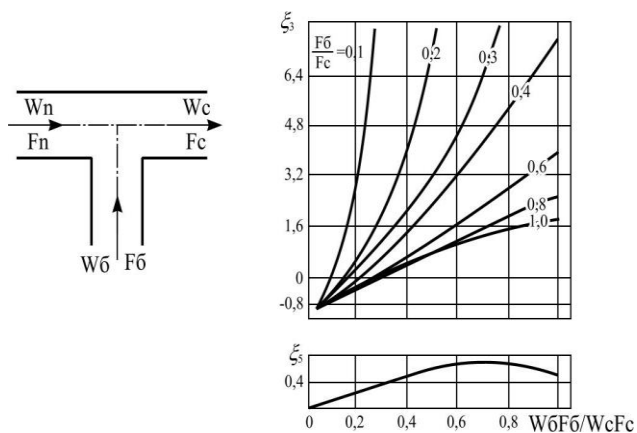


Рис.3. Злиття потоків під кутом  $90^\circ$   
 ( $\xi_b$  – бокового відгалуження;  $\xi_n$  – прямого відгалуження)

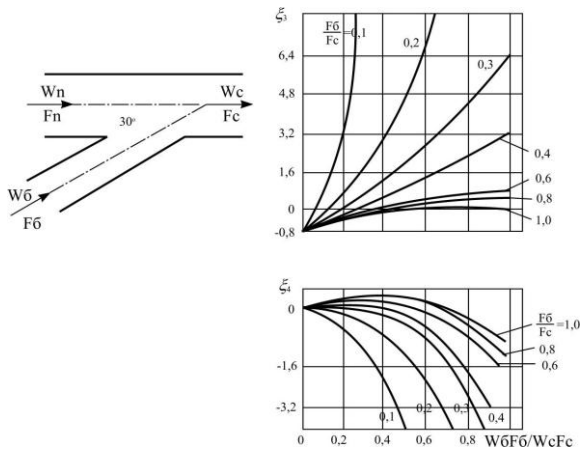


Рис.4. Злиття потоків під кутом  $30^{\circ}$   
 ( $\xi_{\sigma}$  – бокового відгалуження;  $\xi_n$  – прямого відгалуження)

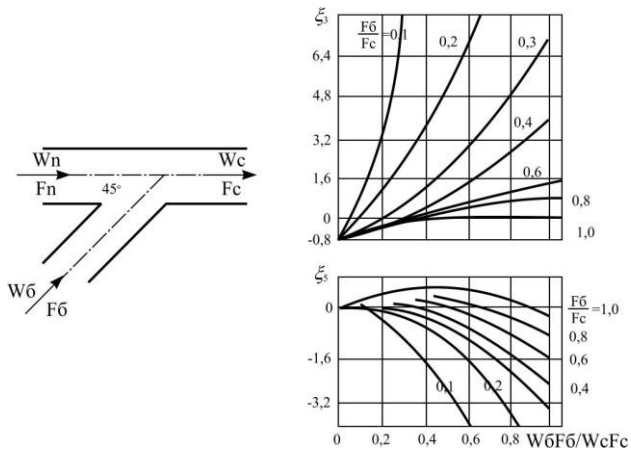


Рис.5. Злиття потоків під кутом  $45^{\circ}$   
 ( $\xi_{\sigma}$  – бокового відгалуження;  $\xi_n$  – прямого відгалуження)

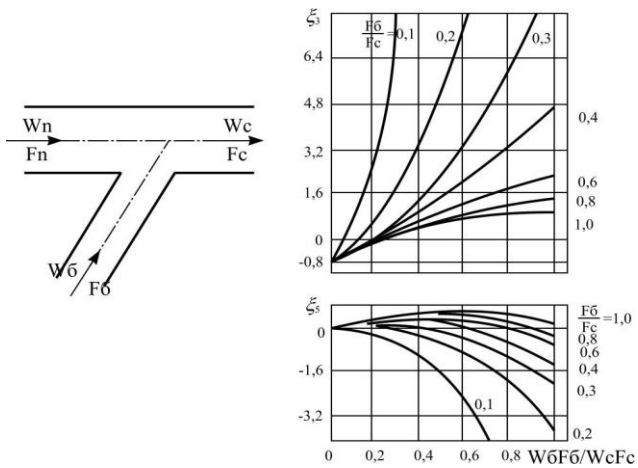


Рис.6. Злиття потоків під кутом  $60^{\circ}$   
 ( $\xi_6$  – бокового відгалуження;  $\xi_n$  – прямого відгалуження)

Примітка. В додатку коефіцієнти місцевого опору віднесені до швидкісного тиску у збірному каналі.

**Додаток 5.** Коефіцієнти місцевих опорів газоходу при злитті потоків диму під кутами  $90^{\circ} \dots 180^{\circ}$ , які розташовані V-подібно

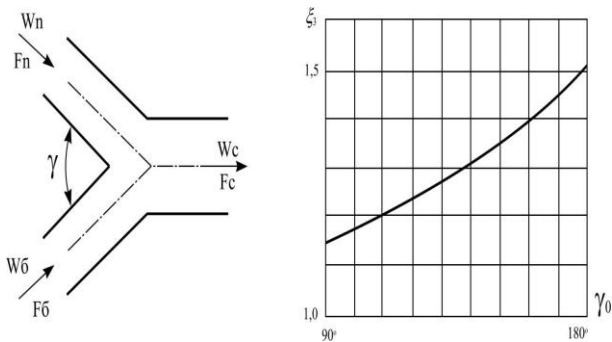


Рис.7. Злиття потоків під кутом  $90^{\circ} \dots 180^{\circ}$   
 ( $\xi_6$  – бокового відгалуження;  $\xi_n$  – прямого відгалуження)

Примітка. В додатку коефіцієнти місцевого опору віднесені до швидкісного тиску у збірному каналі.

### Додаток 6. Основні типи димосмоків та їх характеристики

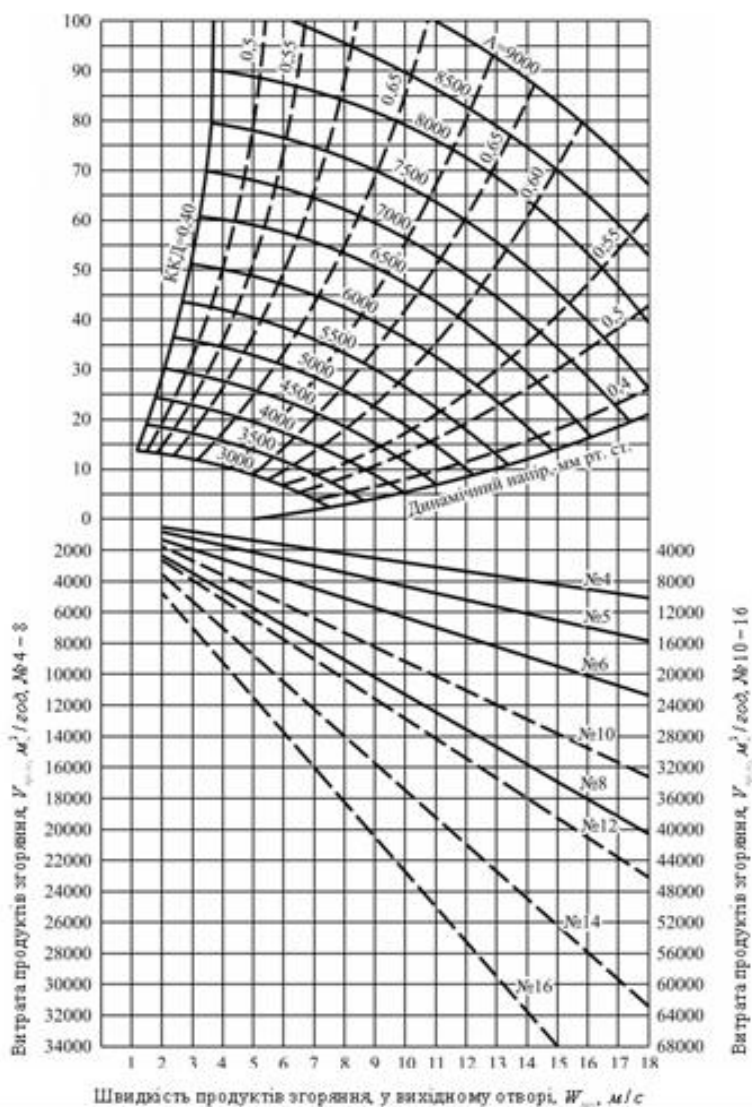
Тип	n=760 об/хв			n=960 об/хв		
	V, м³/год	P, кгс/м²	N, кВт	V, м³/год	P, кгс/м²	N, кВт
В №9	6000	57	1,7	8000	100	4,6
	12000	55	2,8	15000	99	6,7
	18000	50	4Д	22000	95	9,2
	24000	40	5,4	30000	78	12,2
В №12	12000	102	6,0	15000	180	17,0
	28000	98	11,0	33000	177	26,0
	44000	91	16,0	51000	170	37,0
	60000	65	23,0	70000	135	51,0
D-9	18000	43	4,5	24000	73	14,0
D-12	44000	85	20,0	58000	145	55,0
D-12К	20000	96	14,0	25000	160	28,0
D10-12,5 H <sub>30</sub>	105000	155	80,0	135000	265	180,0
D10-13H <sub>30</sub>	115000	165	95,0	155000	285	220,0
D10-13,5 H <sub>30</sub>	130000	175	120	170000	310	265
D10-14H <sub>30</sub>	145000	190	140	190000	330	320
D10-12,5H <sub>40</sub>	105000	135	70	130000	235	155
D10-13H <sub>40</sub>	115000	150	85	155000	255	200
D10-13,5 H <sub>40</sub>	130000	160	100	170000	275	240
D10-14 H <sub>40</sub>	145000	175	125	190000	295	290
D10-14,5H <sub>40</sub>	160000	185	145	210000	320	340
D10-12,5 Э	57000	88	28	75000	155	63
D10-13 Э	65000	96	35	85000	167	78
D10-14 Э	80000	112	48	105000	190	110
D10-14,5 Э	90000	120	60	118000	205	130

#### Примітки:

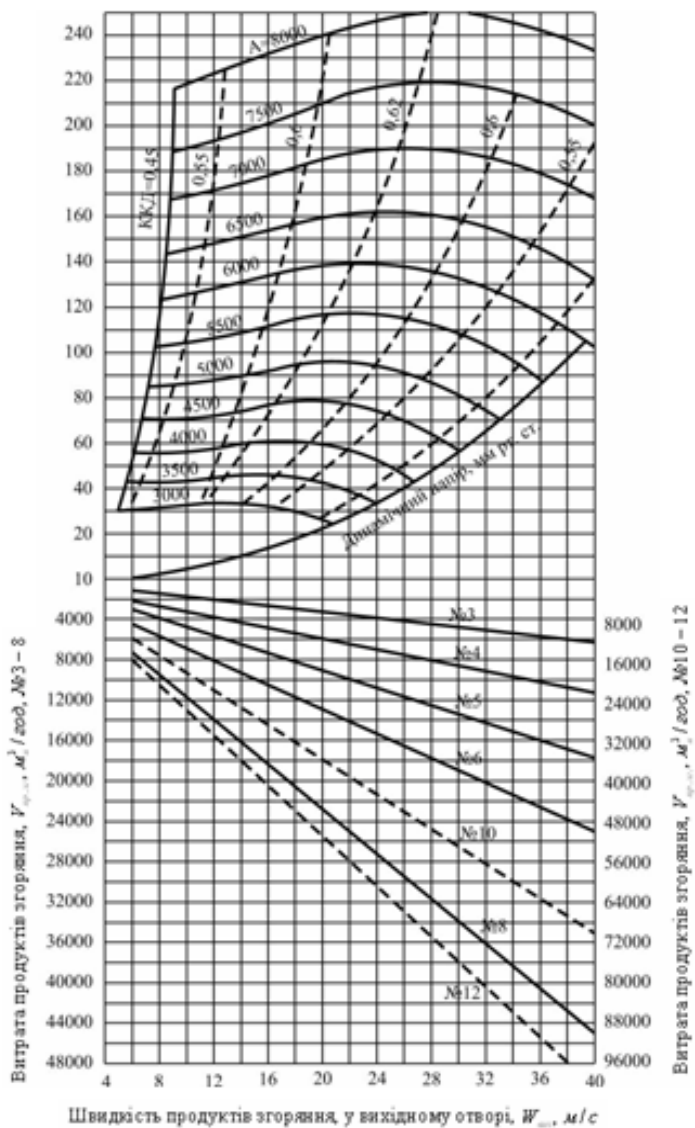
1. Димососи серії В виготовляються на одній осі з електродвигуном.
2. Димососи серії D-9, D-12, D-12К-3 виготовляються з колесом "ЦАГИ", шестилопатеві одностороннього всмоктування.
3. Димососи серії D-10 виготовляються з колесом "ЦАГИ", багатолопатеві одностороннього всмоктування.
4. Коефіцієнт корисної дії димососів дорівнює 0,5.. .0,6.



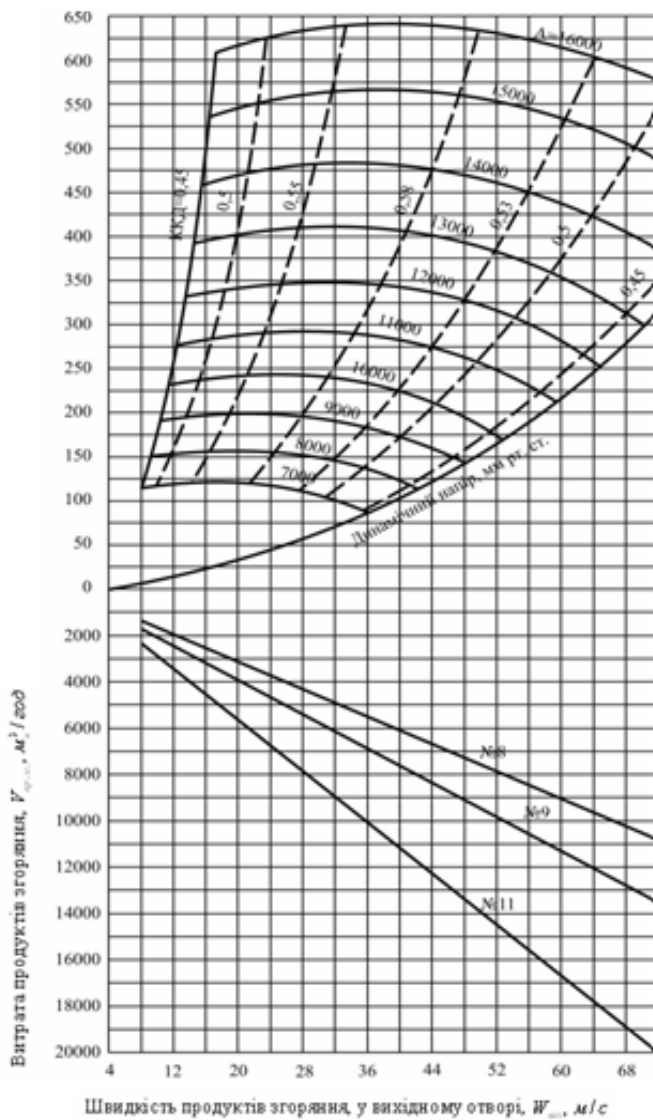
## Додаток 7. Номограма для вибору димосмоків (вентиляторів) низького тиску



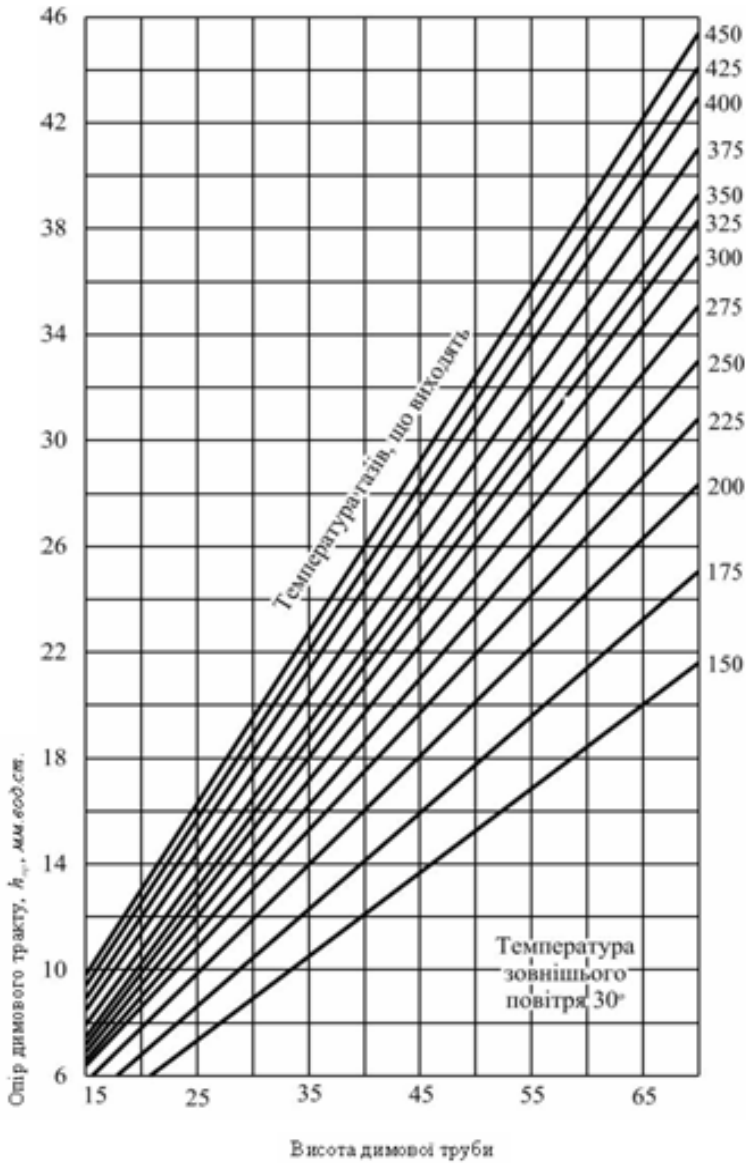
**Додаток 8.** Номограма для вибору димосмоків (вентиляторів) середнього тиску



Додаток 9. Номограма для вибору димосмоків (вентиляторів) високого тиску



**Додаток 10.** Номограма для приблизного визначення висоти димової труби ( $t_{нов} = 30^{\circ}\text{C}$ )



Додаток 11. Номограма для приблизного визначення висоти димової труби ( $t_{нов} = 0^{\circ}C$ )

