

УДК 697.533.6

студ. Валерій Федоренко,
4923fluemind@odaba.edu.ua, ORCID: 0009-0002-2739-6888,
к.т.н., доц. Володимир Ісаєв,
isaevv5@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9947-7284,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ПРОБЛЕМА БЕЗПЕЧНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ДИМОХІДНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ УЩІЛЬНЕНОЇ ЗАБУДОВИ

Розглянуті явища виникнення зворотної тяги в димоходах, що зумовлено метеорологічними умовами та геометричними параметрами розміщення оголовку димоходу в області прилеглої забудови. З метою поглибленого аналізу явищ зворотної тяги проведено розрахунки метеорологічних параметрів атмосферного тиску та турбулентності, визначено значення швидкості вітру в експлуатаційних та екстремальних умовах функціонування димохідних систем. Вітер займає першорядну роль впливу та його наслідки мають бути оцінені для забезпечення необхідного ступеня безпеки димохідних систем. Окремо розглянуто технічну колізію між національними нормами та європейськими стандартами щодо тлумачення й визначення «зони вітрового підпору», де європейський підхід в цьому питанні має більш математичний підхід. Запропоновано розгляд та аналіз цього питання в більш сучасному підході, з застосуванням обчислювального гідродинамічного моделювання CFD (Computational Fluid Dynamics - обчислювальна гідрогазодинаміка) та спеціалізованих програм для теплотехнічного та аеродинамічного розрахунків димоходів, що надає змогу оцінити функціональну здатність димоходу, як в конструктивних особливостях, так і в умовах впливу вітру. Вказаний підхід має переваги, тому що, аналіз відбувається конкретно для окремого димоходу, що свою чергу уникає шаблонних результатів. Тобто розглядається взаємодія системи «атмосфера-димохід-приміщення». В модулі ANSYS CFX-Post проаналізовано утворення зворотної тяги для різних швидкостей вітрового потоку при однакових геометричних параметрів розміщення оголовку димоходу, що характеризуються змінами швидкості руху димових газів, статичним тиском, температурним полем, формуванням факелу димових газів в атмосфері. В особливостях моделювання функціонування димоходу визначено наступні чинники: використання вторинного повітря через перепускний отвір, температуру зовнішнього повітря прийнято для розрахунку мінімальної тяги 288,15 К, температуру димових газів 345,95 К. Отримані результати досліджень обчислювального моделювання CFD надають мотивацію щодо

розробки інноваційних та дієвих підходів з усунення небезпечних явищ зворотної тяги в димоходах.

Ключові слова: димохід; зворотна тяга; ANSYS CFD; атмосферна турбулентність.

Вступ. В сучасних умовах будівельного хаосу, виникає досить поширена проблема будівництва в умовах ущільненої забудови, що створює негативний аеродинамічний вплив на існуючі димохідні та вентиляційні системи.. При виникненні зворотної тяги в димоходах відбувається виток димових газів в приміщення, що є небезпечною токсичною сполукою. Димовий газ не має запаху, кольору, смаку тому, органолептичний моніторинг людини не здатен виявити завчасно небезпеку.

Актуальність дослідження. Висотне будівництво має переважний характер, тому актуальність проблеми функціонування димоходів в умовах ущільненої забудови є прогресуюча. Тому підхід до розв'язання вказаної проблеми має бути сучасним й модернізованим та забезпечувати надійність і безпеку експлуатації димохідних систем.

Останні дослідження та публікації. Проблема безпечного функціонування димохідних систем залежить від багатьох конструктивних факторів та метеорологічних умов. Більшість проблем вирішується шляхом впровадження європейських норм, щодо вироблення, проектування та умов експлуатації димохідних систем. Виникнення проблеми в першу чергу виникає з-за рахунок колізій при технічному тлумаченні поняття «зони вітрового підпору», що розглядаються, як в національних нормах ДБН В.2.5-20:2018 «Газопостачання» [1] та європейських стандартах ДСТУ EN 13384-1:2018 [2], ДСТУ EN 13384-2:2018 [3]. Передусім [2] розглядає вказану проблему за трьома геометричними чинниками та аеродинамічними вимогами, що враховують динамічний тиск повітря P_L як постійну величину, за формулою, що визначає вимоги тиску для димоходів з розрідженням:

$$P_Z = P_H - P_R - P_L \geq P_W + P_{FV} + P_B = P_{Ze}, \text{ Па} \quad (1)$$

$$P_Z \geq P_B, \text{ Па} \quad (2)$$

$$P_{Z\max} = P_H - P_R \leq P_{W\max} + P_{FV} + P_B = P_{Z\max}, \text{ Па} \quad (3)$$

де P_B - фактичний аеродинамічний опір подачі повітря, Па; P_{FV} – фактичний

аеродинамічний опір з'єднувального димоходу, Па; P_H - теоретична тяга, що виникає внаслідок ефекту димоходу, Па; P_L - динамічний тиск повітря, Па; P_R - аеродинамічний опір димоходу, Па; P_W - мінімальна тяга для теплогенератора, Па; $P_{W_{max}}$ - максимальна тяга для теплогенератора, Па.

Відповідно до вимог п.5.10.4 [2] динамічний тиск повітря P_L може приймати лише два значення 25 Па (для регіонів розташованих більше 20 км від узбережжя) і 40 Па. При порівнянні значень динамічного тиску P_L з значеннями вітрового тиску за картою районування території України Додаток Е [4], визначаємо, що останні перебувають в діапазоні 400-600 Па. Тобто граничні стани, що розглянуто [2, 3] методикою теплотехнічного та аеродинамічного розрахунку димоходів полягають насамперед в експлуатаційних умовах помірної швидкості вітру та не передбачають розрахунку в інших метеорологічних умовах максимальної швидкості вітру.

Таким чином, Додаток С [2] передбачає, що несприятливі умови для функціонування димоходів виникатимуть у разі недотримання наступних геометричних параметрів (рис. 1) розташування оголовка димоходу:

- горизонтальна відстань L між виходом і будівлею менша ніж 15 м;
- будівля відносно виходу димоходу розташована під горизонтальним кутом більше ніж 30° (кут α);
- верхня межа будівлі відносно виходу димоходу здійснюється більше ніж на 10° над горизонтом (кут β).

За наявності вищезазначених геометричних параметрів, [2] регламентує враховувати динамічний тиск повітря P_L при проведенні аеродинамічних розрахунків, і як правило, практичні результати розрахунку вказують на неможливість виконання умов тиску для димоходів з розрідженням та димоходів з надлишковим тиском.

В свою чергу, вимоги п.6.2 [5] регламентують інші геометричні параметри з визначення цього питання (рис. 2).

Європейські норми [2] враховують аеродинамічні властивості димохідної установки та фізичні властивості атмосфери і димових газів, що в цілому надають більш коректні результати щодо функціонування димоходів в несприятливих умовах.

Ще до прийняття на території України європейських норм [2, 3], співробітниками Одеської державної академії будівництва та архітектури, за допомогою програмного комплексу FlowVision CFD з математичного тривимірного моделювання, проведено наукові дослідження щодо змін статичного тиску в області оголовків каналів в умовах фактичної забудови [6, 8].

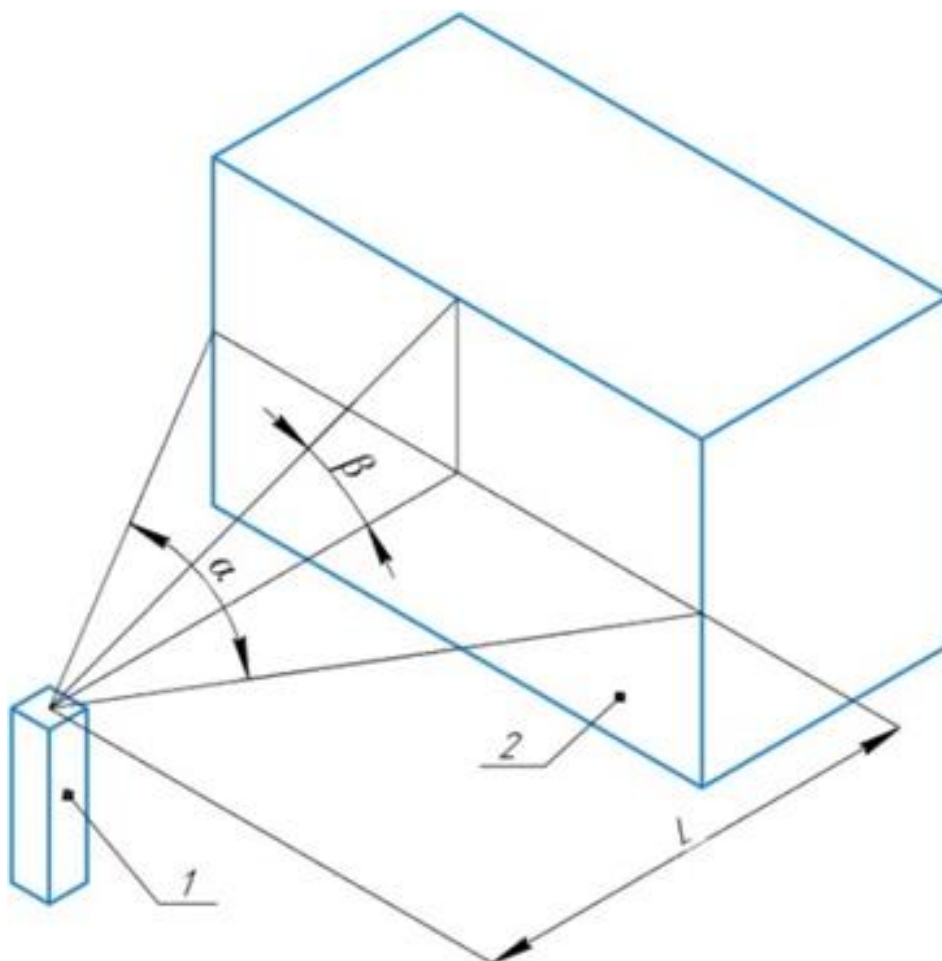


Рис. 1. Геометрична схема виходу димоходу:
1 – димохід; 2 – будівля

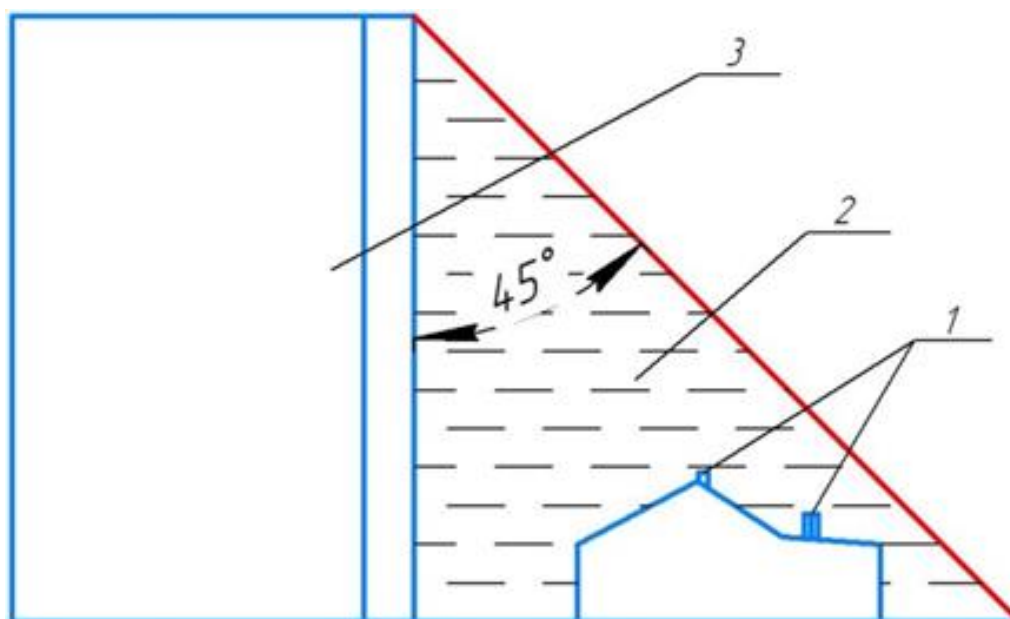


Рис. 2. Геометрична схема «зони вітрового підпору»:
1 – димохід; 2 – простір зони вітрового підпору;
3 – висотна будівля

В проведених дослідженнях проаналізовано зміни статичного атмосферного тиску, що виникають під впливом вітру в умовах фактичної забудови та порівняння їх зі значеннями природньої самотяги димоходів довідкового характеру. Основні напрямки вітру в дослідженнях приймалися за 8 проміжними румбами.

Практичним аналізом та досвідом з питань обстеження «зони вітрового підпору, що регламентуються відповідно чинних норм і правил [1, 5] можна зазначити, що вимоги надають некоректну функціональну оцінку щодо ймовірності утворення зворотної тяги в димоходах. Аналогічне твердження виникало при математичних дослідженнях статичного тиску [6]. З огляду технічних інновацій й модернізації газових теплогенераторів, впровадження сучасних систем димовидалення каскадного і колективного типу, вказана термінологія в нормативних документах [1, 5] «зони вітрового підпору» та її геометричний параметр є технічно застарілим поняттям. На підставі чого виникає необхідність більш поглибленої гармонізації з європейськими стандартами та методами аеродинамічного розрахунку димохідних систем з застосуванням обчислювального гідрогазодинамічного моделювання в програмних комплексах CFD.

Інше проблемне питання виникає вже на етапі виконання заходів з усунення «зони вітрового підпору», а саме технічна можливість нарощування каналів згідно вимог п.6.2 [5]. В переважній більшості для димових та вентиляційних каналів, що перебуватимуть в «зоні вітрового підпору» неможливо виконати нарощування каналів, у зв'язку з суттєвим зануренням в простір впливу «зони вітрового підпору».

На сьогоднішній день ринок димохідних систем пропонує досить розширений асортимент фасонних частин з закінчення димоходів: флюгери, ковпаки, зонти, тощо. Але фактично вказані вироби в повній мірі не здатні забезпечити уникнення зворотної тяги, а навпаки створюють додатковий опір для руху димових газів.

Формулювання цілей статті. Проведення дослідження з визначення процесів утворення зворотної тяги в димоходах в несприятливих умовах експлуатації, що в майбутньому надасть змогу знайти технічне вирішення проблеми безпечної експлуатації димоходів в умовах ущільненої забудови.

Основна частина. У відмінності від досліджень [6, 7], обраний метод полягає в локальному моделюванні функціонування димохідної установки в несприятливих умовах. Детальність локального моделювання надає можливість з'ясування ефекту зворотного потоку в димохідних системах більш поглиблено та інформативно.

Дослідження зворотної тяги слід розглядати, як локальну задачу з

визначенням наступних факторів: аеродинамічний опір подачі повітря; повне та часткове навантаження теплогенератора; фізичні властивості димових газів; особливості конструкції димоходу; особливості географічної місцевості; метеорологічні умови; аеродинамічний опір димоходу; геометричні параметри розміщення виходу димоходу навколо оточуючих об'єктів.

Для подальшого процесу дослідження, визначено метеорологічні чинники впливу які є джерелом небезпечного ефекту зворотного потоку в димоходах.

Вітер. Розглянемо 3 район карти районування території України за характеристичними значеннями вітрового тиску [4], який переважно займає більшість території України та географічно-метеорологічну місцевість Одеського району На рис. 3 представлено графік максимального значення швидкості вітру на висоті 10-метрів над землею поверхнею за 10-хвилинний період, що безпосередньо передував терміну спостереження за 2002-2021 рр. [8].



Рис. 3. Графік статистичних значень максимальної швидкості вітру в термін спостереження 2002-2021 роках

У спосіб, що викладено в European Wind Atlas [9] проведено імовірнісний аналіз статистичних значень максимальної середньорічної швидкості вітру та отримано значення середньої швидкості вітру, що пов'язана з розрахунковим періодом повторюваності. Аналіз проведено з використанням баз даних [8], що включають 20 років спостереження, що найменше на 1/5 перевищує розрахунковий період повторюваності $T_p=50$ років та у будь-якому випадку

більше 5 років [10].

Розраховане значення швидкості 22,77 м/с приймаємо, як базову еталонну швидкість вітру V_b , що пов'язана з періодом повторення $T_R = 50$ років.

Розрахункова опорна швидкість V_r (м/с) визначається наступною формулою (3.3) [10]:

$$V_r = V_b \cdot c_r \quad (4)$$

де V_b - базова еталона швидкість вітру, м/с; c_r - коефіцієнт віддачі розраховуємо для $T_R = 20$ років, що завдано рівнянням, для умов 5 років $\leq T_R < 50$ років (3.4 с) [10]:

$$c_r = 0,75 \sqrt{1 - 0,2 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} \quad (5)$$

За відсутності спеціального аналізу, що враховує напрям вітру, ефективну шорсткість та топографію місцевості, що оточує будівельний майданчик, для висот над землею, що не перевищують $z=200$ м, середня швидкість вітру (м/с) визначається рівнянням (3.5) [10]:

$$V_m(z) = V_r \cdot c_m(z), \quad (6)$$

де c_m – коефіцієнт профілю середньої швидкості вітру, що визначається рівнянням (3.6b) [10], для $z > z_{\min}$ для IV категорії експозиції:

$$c_m(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \cdot c_t(z) \quad (7)$$

де k_r - фактор рельєфу, відповідно [10, Table 3.ІІ]; z - висота дослідження, м; z_0 - мінімальна висота, відповідно [10 Table 3.ІІ]; $c_t(z)$ - коефіцієнт топографії, наведений у (3.2.4) [10], залежно від топографічних особливостей майданчика.

За розрахунком, максимальна швидкість вітру складає $V_m(z)=23,47$ м/с, що за шкалою Бофорта належить до штормової характеристики вітру.

Атмосферна турбулентність. Атмосферна турбулентність - це коливання миттєвої швидкості вітру з нульовим середнім значенням близько середнього значення $V_m(z)$. В основному характеризується двома параметрами: інтенсивністю турбулентності і турбулентним масштабом довжини [10].

Інтенсивність турбулентності є стандартним відхиленням поздовжньої

складової турбулентності, ділене на середню швидкість вітру. За відсутності спеціальних розрахунків, які враховують напрям вітру, фактичну шорсткість та топографію місцевості, що оточує будівельний майданчик (Annex C), для висот над землею, що не перевищують $z = 200$ м, забезпечується рівнянням (3.7b) [10]:

$$I_v(z) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot c_t(z)} \quad (8)$$

де z - висота дослідження, м; z_0 - мінімальна висота, відповідно [10 Table 3.II]; $c_t(z)$ - коефіцієнт топографії, наведений у (3.2.4) [10]

Шкала довжини турбулентності (м) є середнім розміром вихорів, що формують атмосферну турбулентність. Визначається рівнянням (3.8b) [10]:

$$L_v(z) = \bar{L} \cdot \left(\frac{z}{\bar{z}}\right)^k \quad (9)$$

де $\bar{z} = 200$ м вихідна висота; $\bar{L} = 300$ м еталонна довжина; k - коефіцієнт, наведений у [10, Table 3.IV], залежно від категорії впливу на будівельний майданчик.

Температура зовнішнього повітря. Температура зовнішнього повітря T_L для опалювальних систем визначається для розрахунку мінімальної тяги при надходженні димових газів у димохід та складає $T_L = 288,15$ К ($t_L = 15$ °С) [2].

Тиск зовнішнього повітря. Тиск зовнішнього повітря з урахуванням висоти z над рівнем моря обчислюється за формулою (12) [2]:

$$p_L = 97000 \cdot e^{\frac{(-g \cdot z)}{R_L \cdot T_L}}, \text{ Па}, \quad (10)$$

де g - прискорення вільного падіння $9,81$ м/с²; R_L - газова стала повітря становить 288 Дж/(кг·К) [2]; T_L - температура зовнішнього повітря, К; z – висота над рівнем моря; 97000 – тиск зовнішнього повітря над рівнем моря з врахуванням зміни погоди, Па.

Густина зовнішнього повітря. Густина зовнішнього повітря ρ_L (кг/м³) обчислюють за формулою (13) [2]:

$$\rho_L = \frac{p_L}{R_L T_L} \quad (11)$$

Параметри димових газів. Параметри димових газів отримано на підставі протоколу розрахунку димохідної установки, що виконувався в програмному

комплексі Kesa Technische Software [11]. Для подальшого дослідження, фізичні параметри димових газів приймаємо для останньої секції димохідної установки та вносимо до табл. 1.

Розрахунок коефіцієнту теплопровідності λ_A (Вт/м·К) димових газів для температури t_m виконуємо за формулою (В.9) [2]:

$$\lambda_A = 0.0223 + 0.000065 \cdot t_m. \quad (12)$$

Розрахунок динамічної в'язкості димових газів η_A (Н с/м²) для температури t_m виконуємо за формулою (В.10) [2]:

$$\eta_A = 15 \cdot 10^{-6} + 47 \cdot 10^{-9} \cdot t_m - 20 \cdot 10^{-12} \cdot t_m^2. \quad (13)$$

З застосуванням обчислювального гідродинамічного комплексу ANSYS CFX [12] виконано нестационарні розрахунки потоків повітря і димових газів, із врахуванням природної конвекції в димохідній установці. Таким чином, для доцільності збору аналітичних даних, дослідження здійснювалось у відмінних умовах швидкості вітру: - задача «А» - 0,1 м/с; задача «В» - 6,3 м/с; задача «С» - 23,47 м/с.

Вирішення задач в програмному комплексі ANSYS CFX здійснювалось за усередненням по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса (RANS), що є скороченою формою загальних рівнянь Нав'є-Стокса. У рівняннях RANS стаціонарне рішення відокремлене від флуктуацій, що змінюються в часі в системі, останні з яких враховуватимуть турбулентність у різних режимах потоку [13]. Модель турбулентності: «two-equation standard k-ε model»; режим розрахунку: «total energy», що враховує процеси стискання та теплопередачі в середовищі дослідження.

З метою уникнення випадкових результатів, напрямком вітру обрано не за проміжними румбами, а безпосередньо під прямим кутом в площині від гирла димоходу до будівельної конструкції. В нижній частині конструкції димоходу передбачено перепускний отвір.

Задача (Problem): «А». На першому етапі проаналізуємо функціонування димоходу в умовах швидкості вітру 0,1 м/с, що надає змогу оцінити функціонування димоходу лише за фактором його розташування в негативній області (рис. 4).

Таблиця 1. Параметри димових газів за протоколом розрахунку в програмі Kesa Technische Software

Показник	Позначення	Значення
Масова витрата димових газів системи, г/с	m	95,2
Середня швидкість димових газів, м/с	w_m	3,13
Середня температура димових газів, °C	t_m	72,8
Середня густина димових газів, кг/м ³	ρ_m	0,968
Еквівалентна шорсткість внутрішньої стінки, м	r	0,001
Коефіцієнт тертя в трубі	ψ	0,033
Показник Рейнольдса	Re	33093
Показник Прандтля	Pr	0,725
Критерій Нуссельта	Nu	103,56
Питома теплоємність димових газів, Дж/(кг·К)	c_p	1070
Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² ·К)	k	7,486
Гідрравлічний діаметр системи, м	Dh	0,2

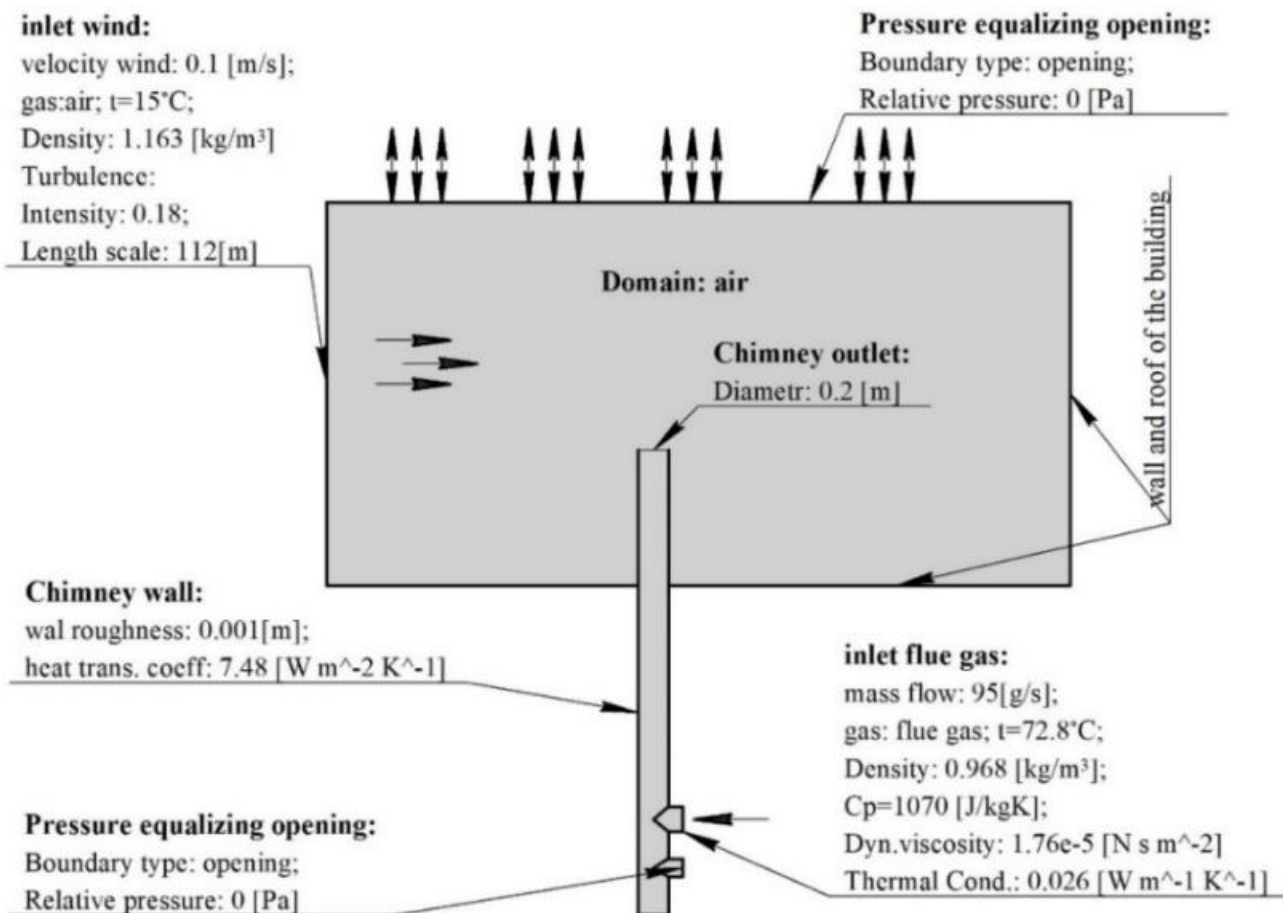


Рис. 4. Постановка граничних умов функціонування димоходу

Результати розрахунку, що отримано в програмному комплексі ANSYS CFX-Post (візуально).

На рис. 5 представлено розподіл тиску в розрахунковій області при швидкості вітру 0,1 м/с. Аналізуючи значення тиску, спостерігаємо в області входу димових газів виникнення розрідження в димоході з поступовим зростанням тиску до врівноваження його зі значеннями статичного тиску в точці $Y=0,00$ (рис. 6.) виходу димових газів в атмосферу.

Визначаємо формування розрідження, що відбувається в області над трійником входу димових газів в точці $Y = -2,67$ м з максимальним значенням розрідження $P_{Hmax} = -7,5$ Па. При цьому слід зазначити, що в даній області (рис. 7), поле швидкості потоку димових газів і розрідження формується нерівномірно, як наслідок аеродинамічного опору з'єднувального елемента димоходу та зміни напрямку руху димових газів. В перепускному отворі в точці $Y = -3,5$ м фіксується повільних рух повітря в напрямку вертикального каналу.

Тепловий підйом димового факелу над гирлом димоходу має параболічну форму (рис. 8), що вказує на нерухомість атмосфери. Температурне поле в димоході носить поступовий характер, що вказує на охолодження димових газів з-за рахунок теплопередачі між димовим газом та стінкою димоходу.

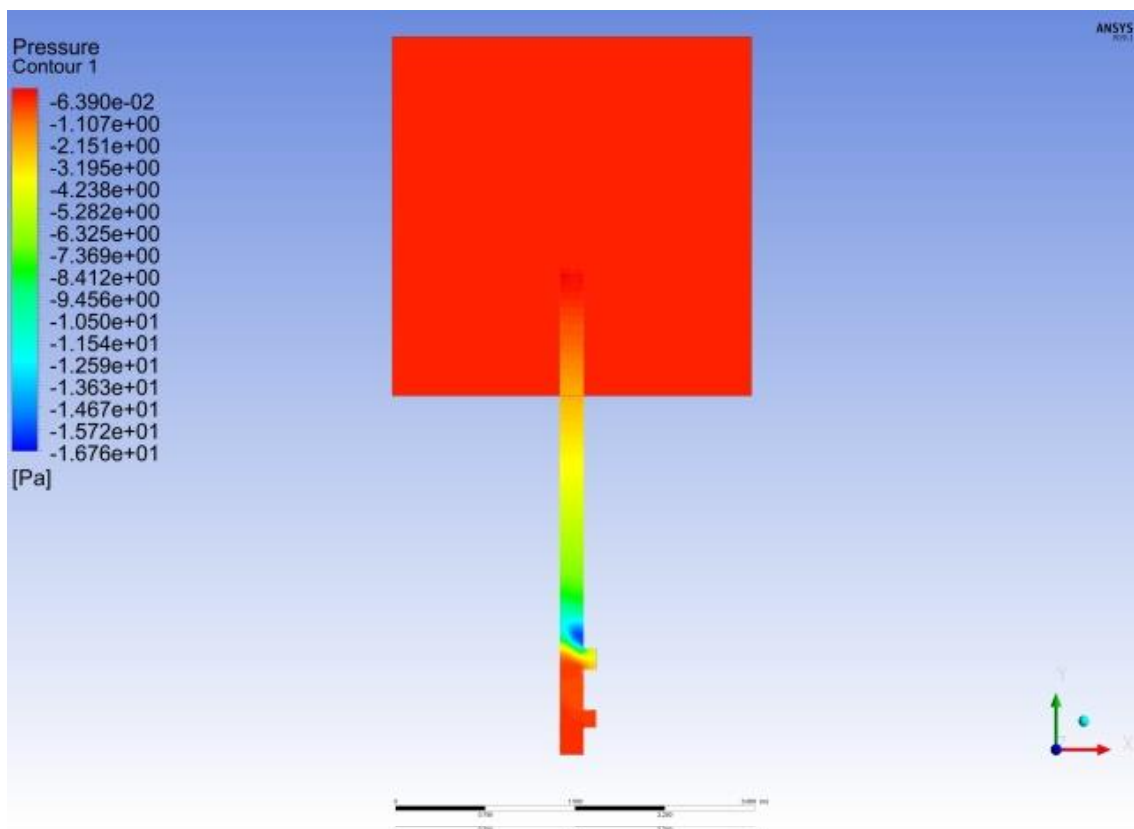


Рис. 5. Розподіл тиску в умовах швидкості вітру 0,1 м/с

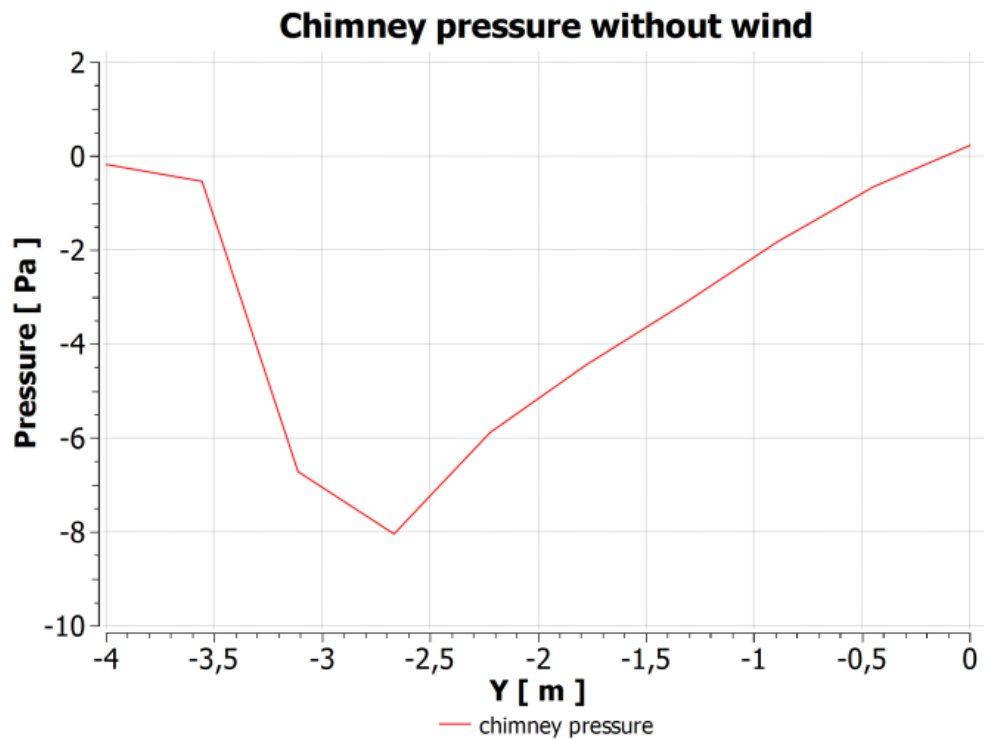


Рис. 6. Графік тиску в димоході в умовах швидкості вітру 0,1 м/с

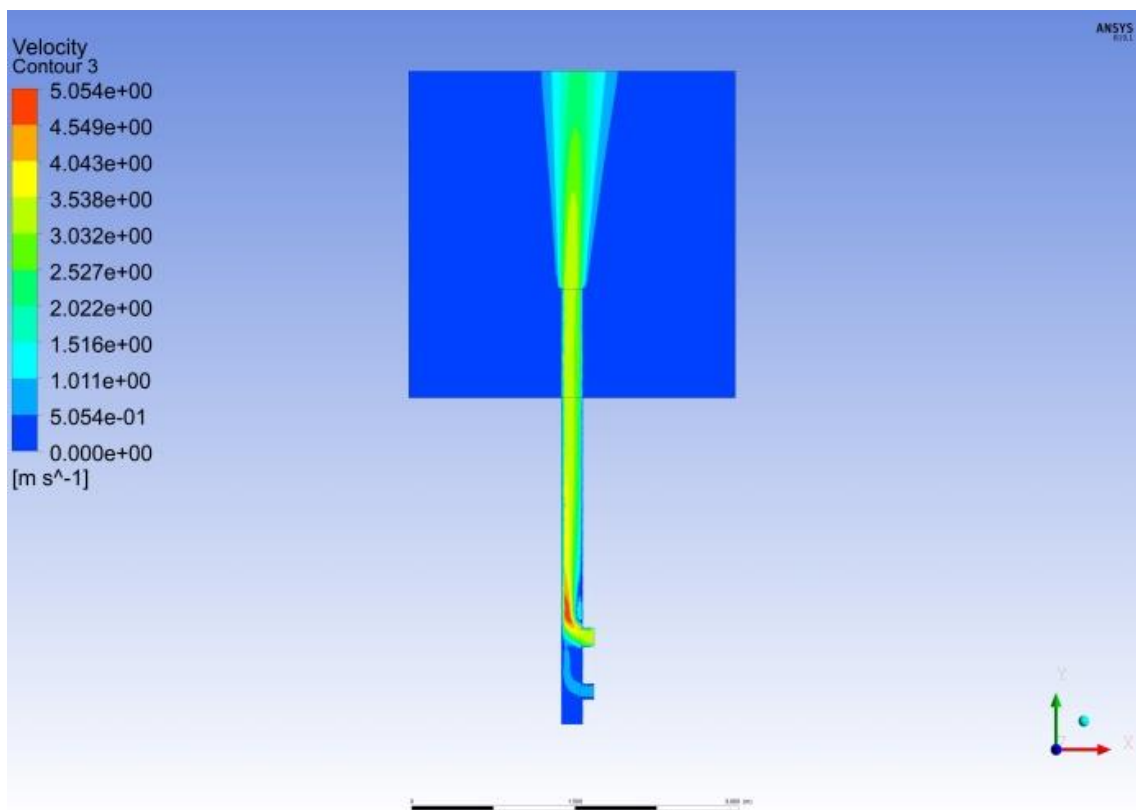


Рис. 7. Розподіл швидкості потоку димових газів в умовах швидкості вітру 0,1 м/с

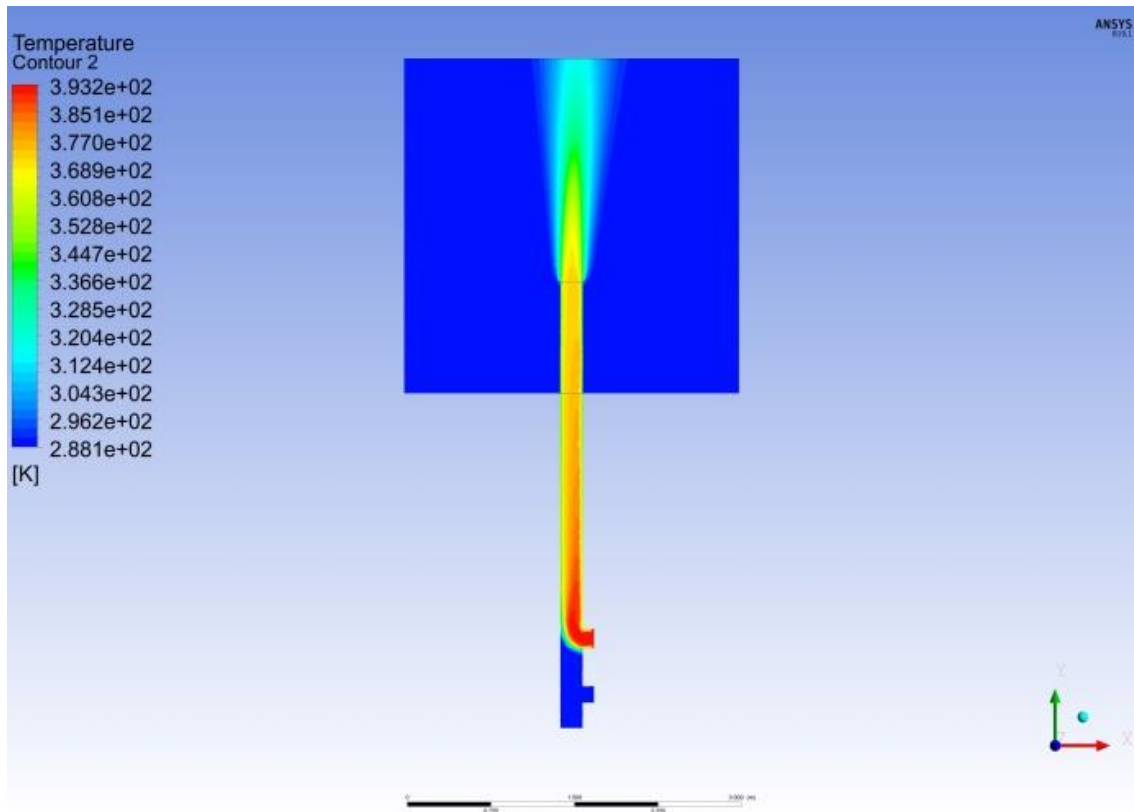


Рис. 8. Поле температур в умовах швидкості вітру 0,1 м/с

Задача (Problem): «В». На другому етапі проаналізуємо функціонування димоходу в аналогічних геометричних умовах зі швидкістю вітру 6,3 м/с та визначеними параметрами інтенсивності та масштабу турбулентності атмосфери.

На рис. 9 представлено розподіл тиску в розрахунковій області при швидкості вітру 6,3 м/с. Визначимо, що лобове зіткнення повітряних мас з перешкодою створює поле підвищеного статичного тиску в області виходу димових газів з гирла димоходу. Надмірність статичного тиску у вказаній області має ознаки інверсії потоку димових газів у внутрішньому просторі димоходу.

Результати розрахунку, що отримано в програмному комплексі ANSYS CFX-Post (візуально).

При аналізі тиску у внутрішньому просторі димоходу (рис. 10), в точці $Y = -2,65$ м фіксуємо зменшене значення розрідження $P_{Hmax} = -4,56$ Па, у порівнянні зі значенням $P_{Hmax} = -7,5$ Па, що наведено в рис. 6. У точці $Y = 0,0$ м виходу димових газів фіксується надмірний статичний тиск, що складає 6,58 Па.

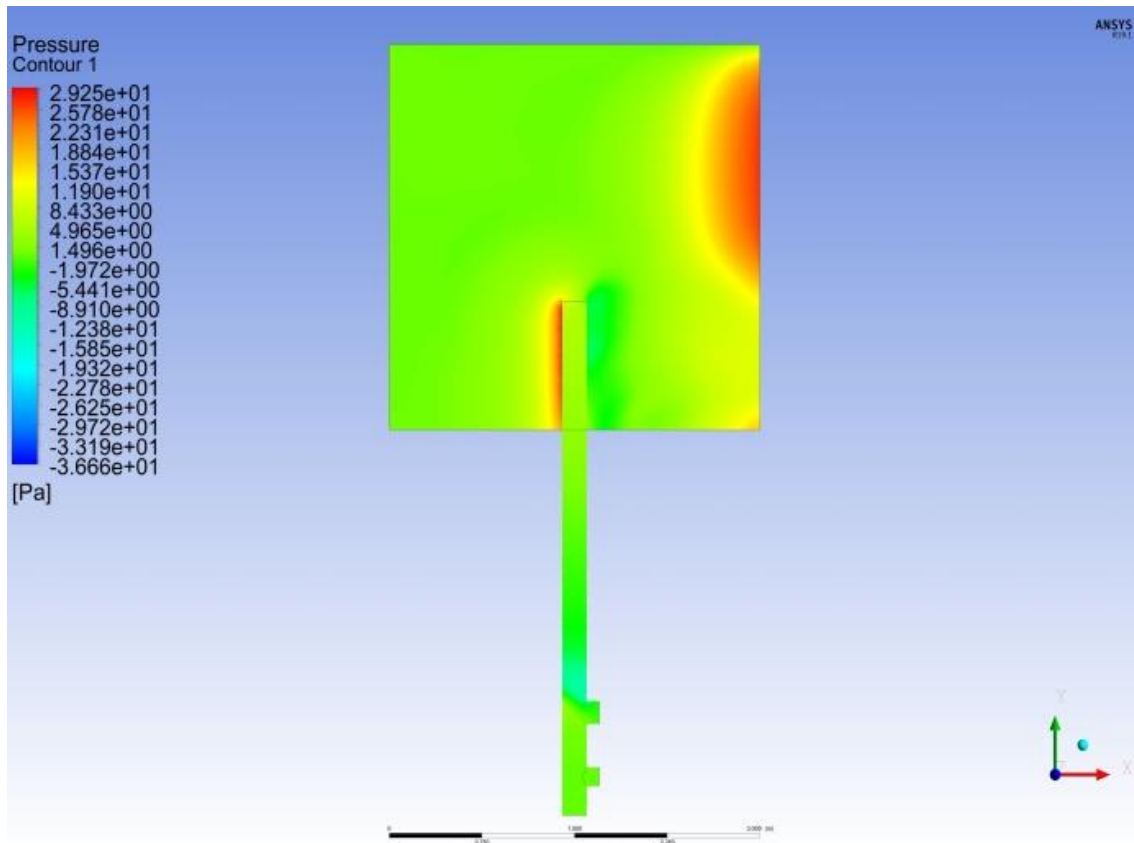


Рис. 9. Розподіл тиску в умовах швидкості вітру 6,3 м/с

За рахунок виникнення аеродинамічного опору, процес вільної конвекції в димоході відбувається аномально (рис.11), що візуально спостерігається неквапливістю охолодження димових газів в димоході. На ділянці між трійником входу димових газів у димохід та перепускним отвором візуально спостерігаються теплові маси димового газу, що є суттєвою ознакою порушення тяги в димоході. В свою чергу, в котлах з відкритою камерою згоряння вбудовані пристрої контролю відведення продуктів згоряння мають конструкцію у вигляді датчику NTC (Negative Temperature Coefficient), що функціонально забезпечують лише контроль температури димових газів. Тобто напрямок руху димових газів та тиск розрідження в області за теплообмінником взагалі не контролюються. Вказаний факт свідчить, що система безпеки вказаних котлів не здатна забезпечити безпеку експлуатації в повному обсязі.

Тепловий підйом димового факелу над гирлом димоходу має стиснуту до горизонту хвилеподібну форму (рис.12), що зумовлено впливом сил інерції повітряних мас, що рухаються переважно горизонтально.

Для аналітичного порівняння даних, що отримано в програмному комплексі ANSYS CFX-Post, побудуємо графіки залежності тиску (рис. 13) та швидкості димових газів (рис. 14), що виникатимуть у внутрішньому просторі димоходу за різних значень швидкості вітру 0,1 м/с та 6,3 м/с відповідно.

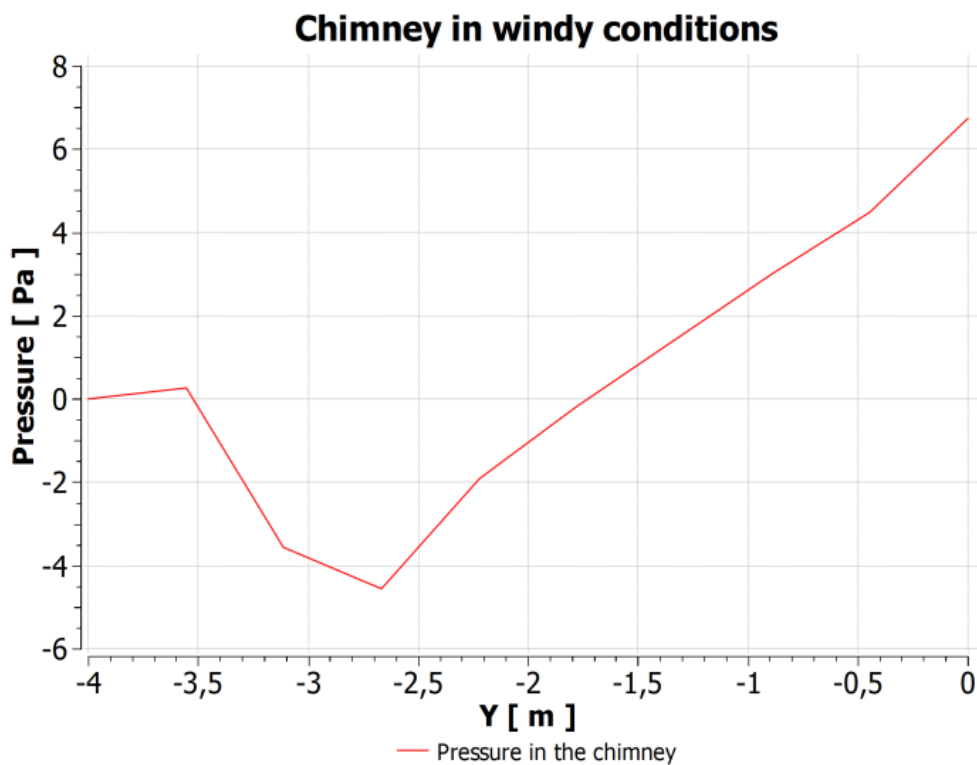


Рис. 10. Графік тиску в димоході в умовах швидкості вітру 6,3 м/с

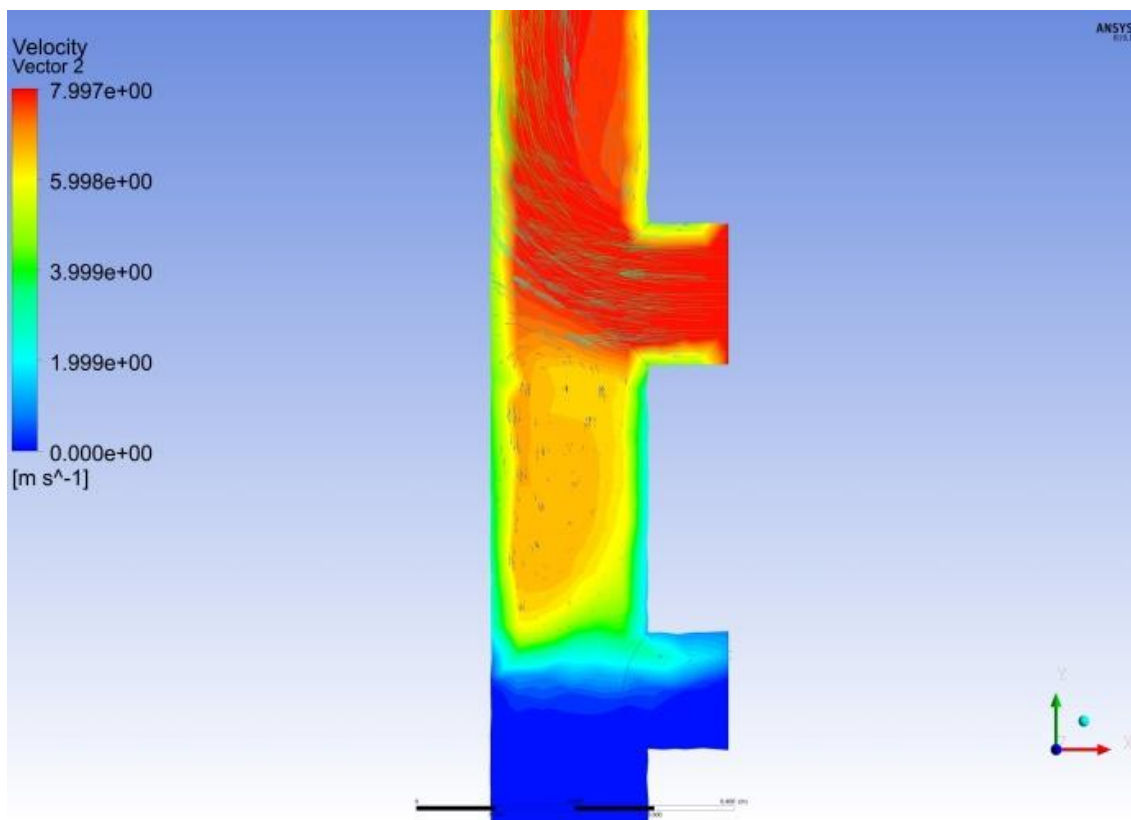


Рис. 11. Поле температур і векторів потоку в трійнику та в перепускному отворі

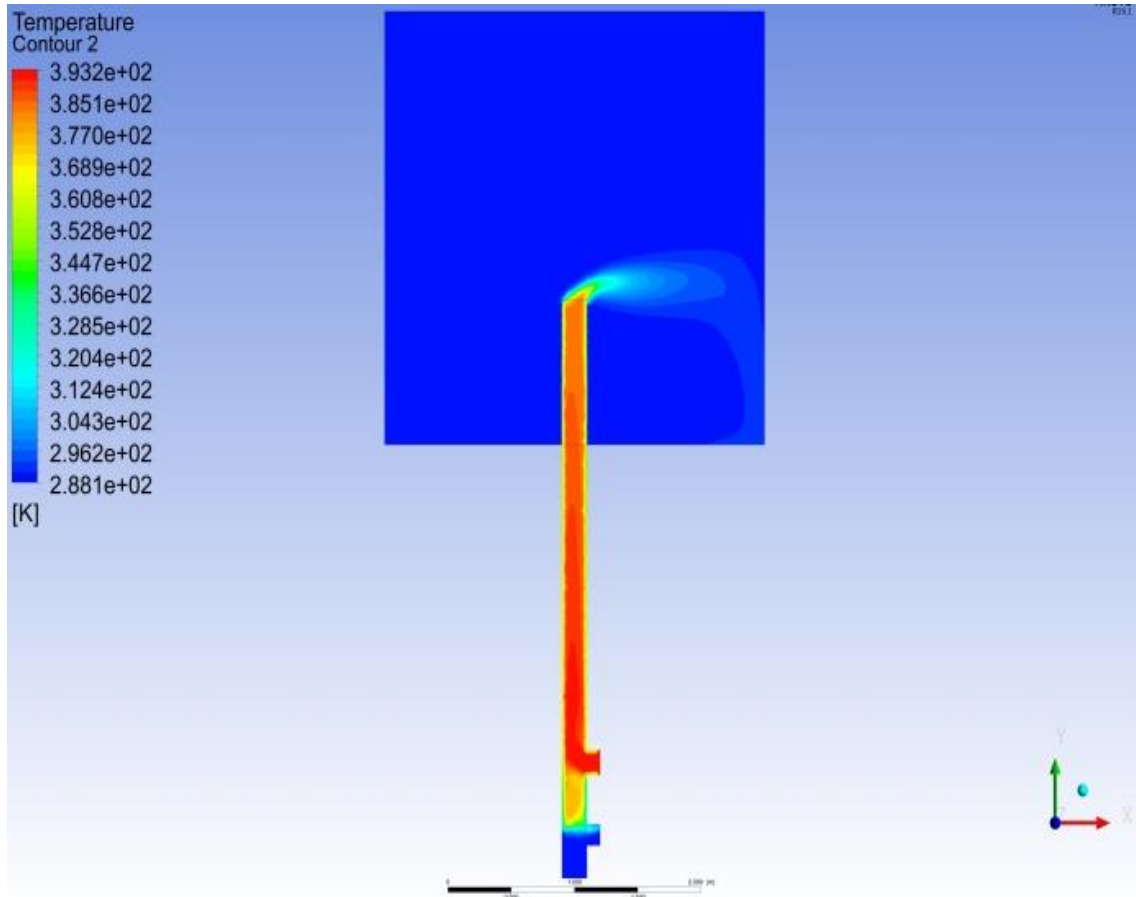


Рис. 12. Поле температур в умовах швидкості вітру 6,3 м/с

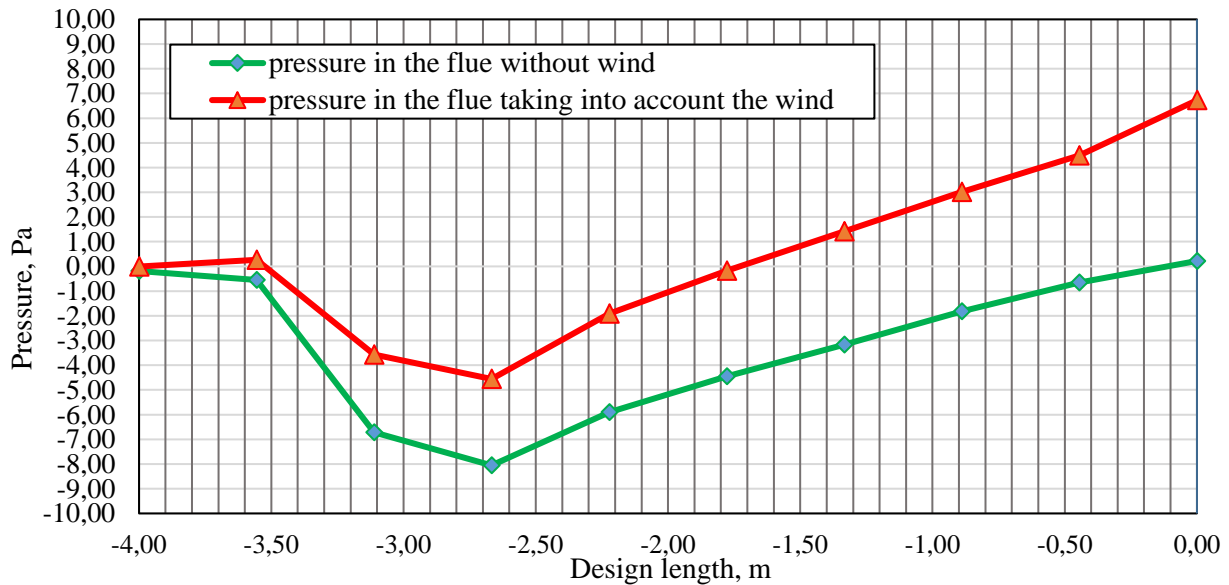


Рис. 13. Графік порівняння тисків в димоході

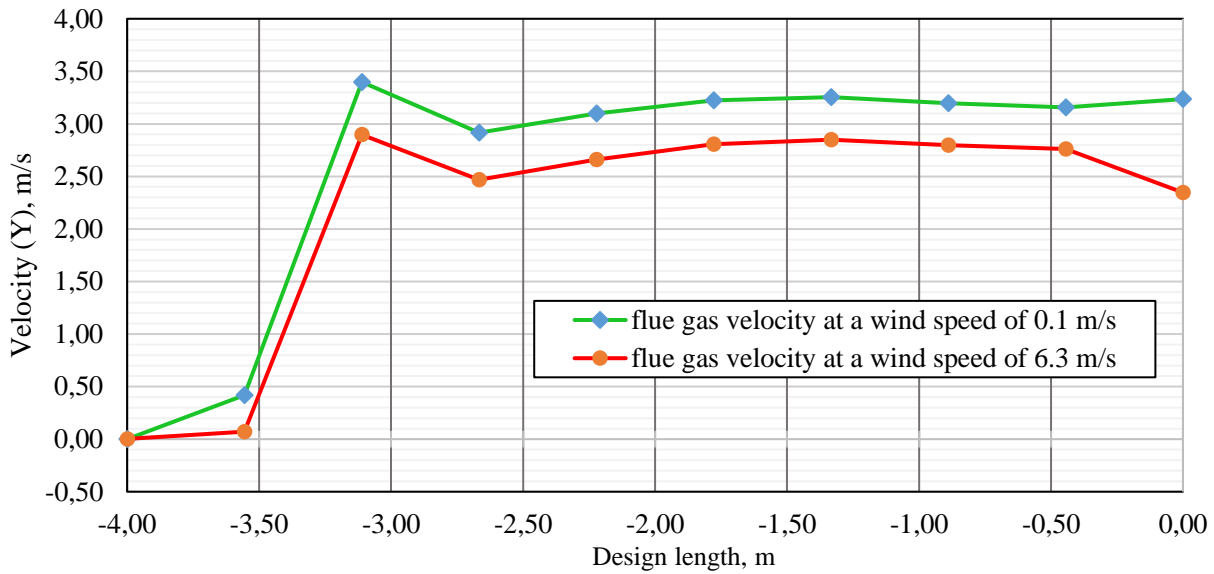


Рис. 14. Графік порівняння швидкості димових газів в димоході

Таблиця 2. Залежність тиску та швидкості димових газів від дії вітру

Елемент димоходу	Вертикальна координата димоходу, Y, м	При швидкості вітру 0,1 м/с		При швидкості вітру 6,3 м/с		Різниця значень, Δ	
		Швидкість димових газів, м/с	Тиск в димоході, Па	Швидкість димових газів, м/с	Тиск в димоході, Па	Δu, м/с	Δp, Па
Гирло виходу димових газів з димоходу	0.00	3,24	0,12	2,35	6,7	0,89	-6,58
Трійник входу димових газів	-3,0	3,40	-6,72	2,90	-3,6	0,5	3,12
Перепускний отвір	-3,5	0,42 (повітря)	-0,54 (повітря)	0,07 (інверсія)	0,27 (інверсія)	0,35	0,81

В області виходу димових газів з гирла димоходу в точці $Y = 0,0 \dots -0,5$ (рис. 13, 14), відзначається падіння швидкості та зростання тиску (червона лінія). Нижче точки входу димових газів у димохід спостерігаємо інверсію потоку (табл. 2) димових газів в напрямку перепускного отвору в точці $Y = -3,5$ м. В даному вузлу візуально фіксуються теплові маси димових газів та їх послідовний виток в приміщення.

Задача (Problem): «С». На останньому етапі проаналізуємо функціонування димоходу в аналогічних геометричних умовах з визначеними параметрами максимальної швидкістю вітру 23,47 м/с. Доцільність дослідження полягає насамперед в визначенні оцінки функціонування димоходу в умовах граничного стану штормового вітру, що є короткочасним природнім явищем.

Результати розрахунку, що отримано в програмному комплексі ANSYS CFX-Post. Тиск повітря (рис. 15) спрямовується в внутрішній простір димоходу, що спричиняє хаотичний рух та зміну напрямку потоку димових газів в вертикальній ділянці димоходу (рис. 16). Тобто відбувається виток небезпечних димових газів в приміщення (рис. 17).

Внаслідок дії протилежного потоку повітря в області входу димових газів в димохід (рис. 18) спостерігається застійний процес вільної конвекції, що зумовлено падінням швидкості та інверсію руху димових газів.

З молекулярної точки зору інверсія руху димових газів обумовлюється нестационарною дифузійною газів під впливом хаотичних сил, що не значно корегуються гравітаційною взаємодією між повітрям та димовими газами. Тобто перенесення речовини відбувається з області з високою концентрацією в область з низькою концентрацією [14].

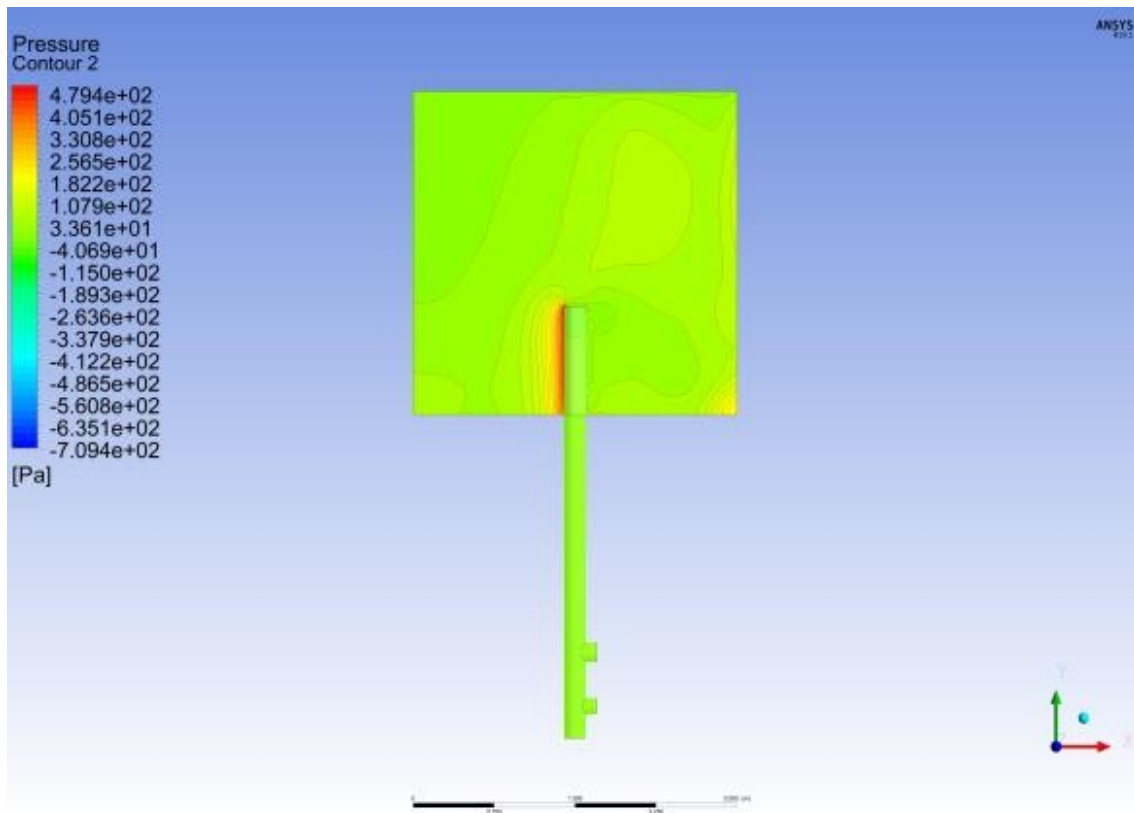


Рис. 15. Розподіл тиску в умовах швидкості вітру 23,47 м/с

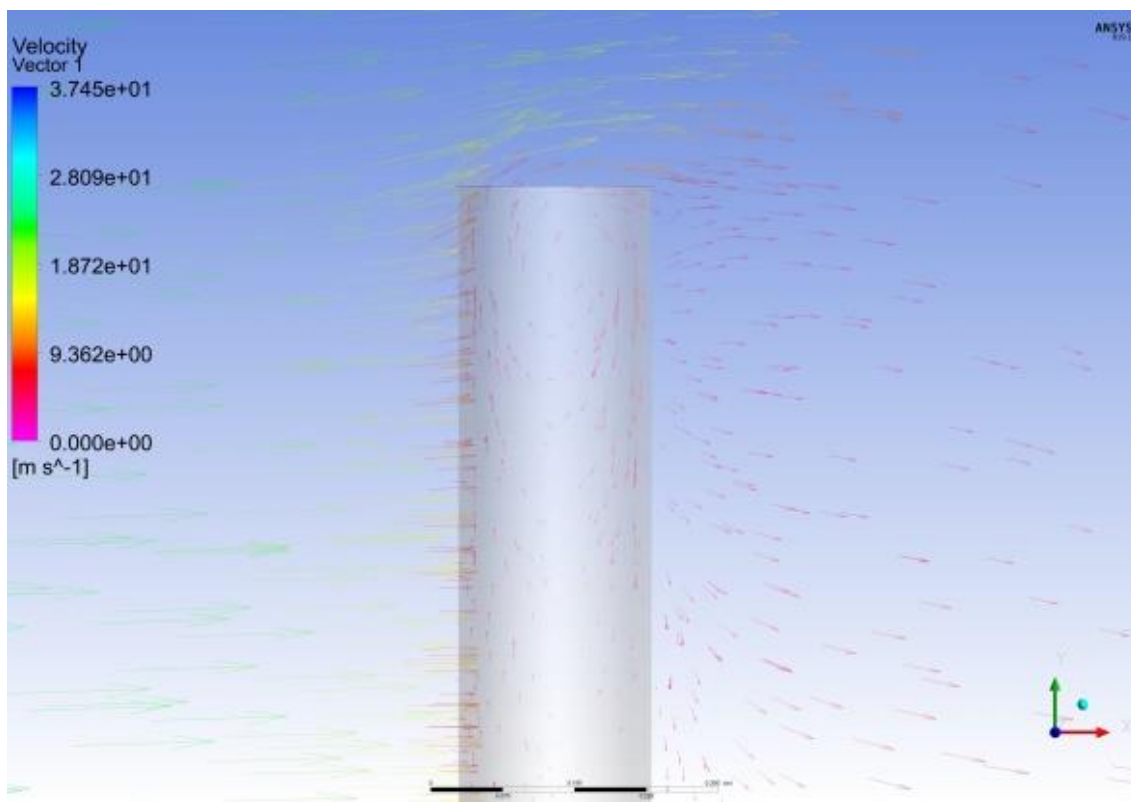


Рис. 16. Вектор руху повітря та димових газів в умовах швидкості вітру 23,47 м/с. Гирло димової труби

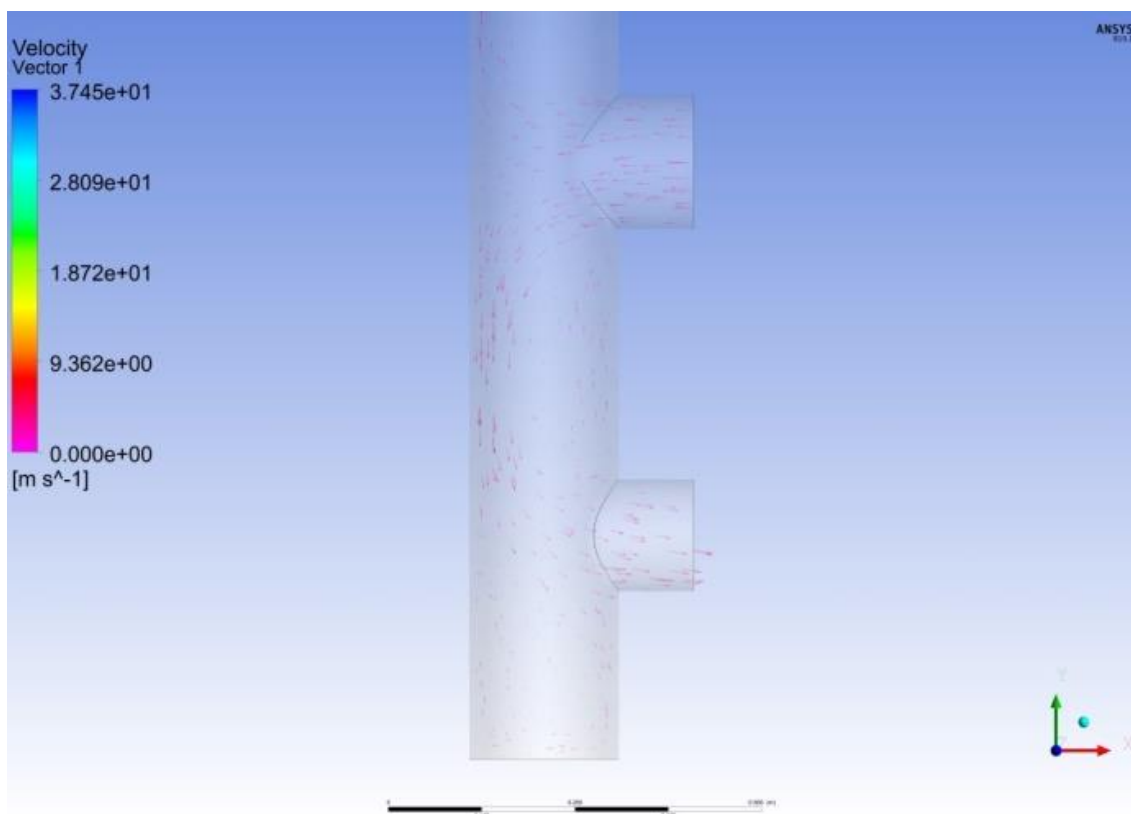


Рис. 17. Вектор руху димового газу області трійника та перепускного отвору в умовах швидкості вітру 23,47 м/с

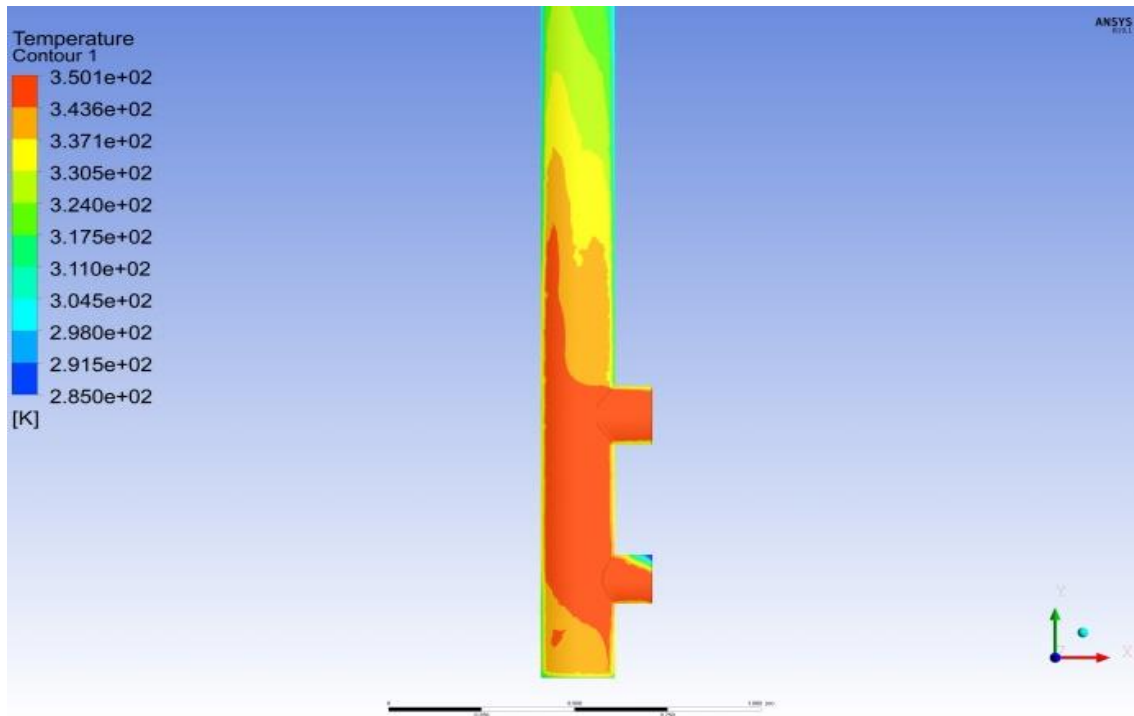


Рис. 18. Температурне поле в області трійника входу димових газів в димохід та перепускний отвір

Якщо розглянути вказану задачу за законом збереження імпульсу, як замкнуту систему «атмосфера-димохід-приміщення», що прагне до рівноваги, допустимо стверджувати, що імпульси атмосферного тиску врівноважуються з імпульсами приміщення через димохід, які в подальшому спричиняють ефект зворотного потоку. Виникає неможливість виконання однорідності за часом врівноваження імпульсів тиску між приміщенням та атмосферним середовищем. В основному через зайву герметичність огорожувальних конструкцій, здебільшого зменшеною повітропроникністю віконних конструкцій в нових або вентиляційно-модернізованих будівлях, що спричиняє дефіцит тиску повітря в приміщеннях.

Висновки. На підставі проведеного аналізу відзначено наступні чинники, що виникатимуть в димоході під впливом вітру та близько розташованої прилеглої забудови: суттєве зменшення розрідження в димоході у точці входу димових газів; зменшення швидкості руху димових газів, особливо в області виходу димових газів в атмосферу; інверсія та прорив димових газів у приміщення; аномальність температури димових газів, що пов'язана з порушенням руху димових газів; потенційна та кінетична енергія димових газів витрачається на подолання надлишкового атмосферного тиску.

Запропонований підхід надає оцінку щодо функціонування димохідних систем в умовах ущільненої забудови та може розглядатись в перспективі

досліджень, як прогнозуючого так і конструктивно-інноваційного характеру. Практичне впровадження потребує передусім більш поглибленої гармонізації з європейськими нормами та стандартами в сфері виробництва, проектування, будівництва та експлуатації димохідних систем.

References

1. Hazopostachannia. DBN V.2.5-20:2018, Ukrarkhbudininform, 2019. (in Ukrainian)
2. Konstruktsii dlia vydalennia dymovykh haziv. Teplotekhnichni ta aerodynamichni rozrakhunok. Chastyna 1. Konstruktsii dlia vydalennia dymovykh haziv vid odnogo dzherela tepla. DSTU EN 13384-1:2018, 2019 (in Ukrainian)
3. Konstruktsii dlia vydalennia dymovykh haziv. Teplotekhnichni ta aerodynamichni rozrakhunok. Chastyna 2. Konstruktsii dlia vydalennia dymovykh haziv vid kilkokh dzherel tepla. DSTU EN 13384-2:2018, 2019. (in Ukrainian)
4. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. DBN V.1.2-2:2006. Ukrarkhbudininform, 2006. (in Ukrainian)
5. Pravyla bezpeky system hazopostachannia. NPAOP 0.00-1.76-15, Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti, 2015. (in Ukrainian)
6. V. N. Yaroshenko, V. V. Vytiukov, and B. B. Kapochkyn, "Novye nauchnye napravleniya yssledovanyi YYES OHASA", *Visnyk ODABA*, no. 36, 2009, 01.07.2023 r. <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/1356> (in Russian)
7. V. V. Vytiukov, V. N. Yaroshenko, and N. N. Khmyznykova, "Yssledovanye zon vetrovoho podpora", *Visnyk ODABA*, no. 54, 2014, 10.07.2023 r. <http://mx.ogasa.org.ua/handle/123456789/1312?locale=en> (in Russian)
8. "Odesa, Ukraine Weather History. Weather Underground". Local Weather Forecast, News and Conditions. Weather Underground, www.wunderground.com/history/daily/ua/odesa/UKOO. Accessed 24 August 2023.
9. Troen, I. and Petersen, E.L. European Wind Atlas. Risø National Laboratory, Roskilde. 1989.
10. Guide for the assessment of wind actions and effects on structures. Official edition. CNR-DT 207/2008, National Research Council of Italy, 2010.
11. "Software - Kesa Technische Software GmbH". Kesa Technische Software GmbH, www.kesa.de/software/?lang=en. Accessed 24 August 2023.
12. Ansys CFD Software. <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx>. Accessed 24 August 2023.
13. "The Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) Equations and Models". Cadence System Analysis, resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2021-the-reynolds-averaged-navier-stokes-rans-equations-and-models. Accessed 24 August

2023.

14. P. P. Cholpan. Fizyka "Vyshcha shkola", 2004. (in Ukrainian)

UDC 697.533.6

stud. **Valeriy Fedorenko**,
4923fluemind@odaba.edu.ua, ORCID: 0009-0002-2739-6888,
PhD, Assoc. Prof. **Volodymyr Isaev**,
isaevv5@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9947-7284,
Odesa State Academy of Civil Engineering

THE PROBLEM OF SAFE OPERATION OF CHIMNEY SYSTEMS IN DENSELY POPULATED DEVELOPMENTS

The phenomena of backdraft in chimneys due to meteorological conditions and geometrical parameters of the chimney head in the area of adjacent buildings are fundamentally considered. For the purpose of in-depth analysis of the backdraft phenomena, the meteorological parameters of atmospheric pressure and turbulence were calculated, and the wind speed was determined under operational and extreme conditions of chimney systems. Wind has a role to impact, and its consequences must be assessed to provide the required safety level of chimney systems. The technical conflict between National Norms and European Standards regarding the interpretation and definition of the "wind resistance zone" is considered separately, where the European approach has more mathematical approach. It is proposed to consider and analyse this issue according to more modern approach, using CFD computational fluid dynamic modelling and specialised software for thermal and aerodynamic calculations of chimneys, which makes it possible to assess the functional ability of a chimney, both in terms of design features and wind exposure. This approach has the advantage that the analysis is carried out locally, specifically for an individual chimney, which avoids random or template results. In other words, the interaction of the "atmosphere-chimney-room" system is considered. The ANSYS CFX-Post module analyses the formation of backdrafts for different wind speeds with the same geometric parameters of the chimney head, characterised by the speed changes of flue gas movement, static pressure, temperature field, and the formation of a flue gas plume in the atmosphere. The following factors have been identified in the modelling of the chimney functioning: the use of secondary air through the bypass hole, the temperature of the outside air is taken to calculate the minimum draft 288.15 K, the temperature of flue gases is 345.95 K. The obtained results of CFD computational modelling studies provide the motivation for the development of innovative and effective approaches to eliminate dangerous backdraft phenomena in chimneys.

Keywords: chimney; backdraft; ANSYS CFD; atmospheric turbulence.