

УДК 697.92

Аналіз гідродинамічних процесів при проходженні вихору через витяжний пристрій

В.Б. Довгалюк¹, В.О. Мілейковський², А.Ю. Мусаєва³

¹канд. техн. наук, професор. Київський національний університет будівництва і архітектури, 2280170@ukr.net

²канд. техн. наук, доцент. Київський національний університет будівництва і архітектури, mileikovskiy@gmail.com

³магістрант. Київський національний університет будівництва і архітектури, ms-an15@mail.ru

Робота відкриває цикл робіт щодо енергетичного аналізу ефективності організації повітрообміну. Шляхом обчислювальної гідродинаміки було перевірено відоме припущення, що вся енергія турбулентних пульсацій залишається в приміщенні і не видаляється витяжною вентиляцією. Показано недостатню обґрунтованість припущення. Натомість обґрунтовано припущення, що вся енергія турбулентних вихорів, які потрапили у спектри всмоктування витяжних пристроїв, безповоротно видаляється з приміщення.

Ключові слова: організація повітрообміну, турбулентний потік, обчислювальна гідромеханіка, енергія турбулентності.

Постановка проблеми. У зв'язку з гармонізацією будівельних норм з ЄС існує необхідність урахування турбулентних пульсацій при визначенні параметрів мікроклімату. Таким чином, для визначення ефективності організації повітрообміну треба враховувати перетворення енергії усередненого потоку в енергію пульсаційної складової руху. Аналітичні підходи до визначення пульсацій швидкості потоків у приміщенні не достатньо розвинені. Основним підходом є лабораторні випробування, що вимагають значних витрат коштів і часу. Таким чином, актуальною є проблема оцінки ефективності організації повітрообміну з урахуванням енергії турбулентних пульсацій у приміщенні.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Г. М. Позин [1] запропонував визначати ефективність організації повітрообміну за температурним симплексом – коефіцієнтом повітрообміну

$$K_L = (t_\ell - t_{in}) / (t_{wz} - t_{in}), \quad (1)$$

де t_ℓ , t_{in} та t_{wz} – температура, відповідно, верхньої зони, припливного повітря та робочої зони. Європейський підхід (EN 15242 [2]) передбачає аналогічний симплекс за концентрацією забруднювачів

$$\varepsilon_v = (C_{ETA} - C_{SUP}) / (C_{IDA} - C_{SUP}), \quad (2)$$

де C_{ETA} , C_{SUP} та C_{IDA} – концентрація, відповідно, у витяжному повітря, припливному повітрі та внутрішньому повітрі.

На відміну від цих підходів у 70-х роках ХХ століття В. М. Ельтерман [3] запропонував енергетичний підхід до оцінки ефективності організації повітрообміну. Він запропонував критерій подібності для організації повітрообміну K як відношення механічної енергії припливних струмин до механічної енергії конвективних потоків:

$$k = v^3 T_{in} c_p \rho / (g Q_v \ell^2), \quad (3)$$

де v та $T_{in} = 273,15 + t_{in}$ – відповідно, середня швидкість та абсолютна температура виходу повітря з припливних пристроїв, c_p – ізобарна теплоємність повітря, ρ – густина повітря, Q_v – теплонапруженість або кількість конвективної теплоти на одиницю об'єму приміщення, ℓ – характерний розмір. Крім цього, В. М. Ельтерман указав, що крім енергії припливних і конвективних потоків необхідно враховувати механічну енергію руху людей, предметів, механізмів тощо. Однак кінетичну енергію, яка видаляється з приміщення разом з витяжним повітрям, запропоновано не враховувати, оскільки швидкість цих потоків створюється потенціальною енергією за рахунок витяжного вентилятора.

У свій час енергетичний підхід не набув достатнього розповсюдження з таких причин:

- відсутність необхідності враховувати турбулентні пульсації при розрахунку вентиляції у тогочасних нормах і методиках обумовила переважне використання найбільш простих симплексів (температурних, концентраційних);
- значна кількість впливових факторів на енергію потоків у приміщеннях призводить до складності отриманих залежностей;
- недостатній розвиток обчислювальної техніки змусив прийняти достатньо грубі припущення без перевірки їхньої точності.

На сьогодні саме енергетичний підхід є найбільш перспективним щодо комплексного врахування закономірностей усередненого та пульсаційного руху повітряних мас при оцінці ефективності організації повітрообміну. У зв'язку з цим постає питання перевірки, а за необхідності, уточнення та доповнення системи припущень В. М. Ельтермана, серед яких припущення, що енергія турбулентних пульсацій не залишає приміщення витяжними пристроями.

Формулювання цілей і завдання статті. Метою даної роботи є перевірка припущення щодо неврахування видалення енергії турбулентних вихорів з приміщення за допомогою витяжних пристроїв.

Основна частина. Для перевірки гіпотези використано методи обчислювальної гідродинаміки (CFD), а саме K - ϵ модель турбулентних потоків [4]. Більшість програм не дозволяють безпосередньо змоделювати в потоці вихори, які за

розміром значно перевищують крок сітки. Генерація цих вихорів не є тривіальною задачею. Використано два підходи:

- обтікання потоком циліндра з утворенням вихрової доріжки Кармана [5];
- вихрова гармата.

Перший підхід придатний лише для потоків з достатньою швидкістю та ставить у відповідність параметри утвореного вихору й швидкість основного потоку. Для малої швидкості потоку (0,1-0,2 м/с) або для забезпечення незалежності швидкості обертання вихору та моменту його утворення від параметрів потоку необхідно використовувати другий підхід.

Вихрова гармата – це циліндр, “прозорий” для потоку, з однієї з основ якого видається одиночний короткий імпульс або серія імпульсів сильнозакрученого потоку. Для досягнення “прозорості” циліндра задаємо на задній за ходом потоку поверхні (плоскій основі чи частині бічної поверхні) граничну умову “витяжний отвір” зі швидкістю, яка відповідає швидкості й напрямку потоку; на передній за ходом потоку поверхні задаємо припливний отвір з такою же швидкістю, а на поверхнях, тангенціальних до потоку, задаємо граничні умови “стінка, що рухається (як конвеєр) з такою же швидкістю і напрямком, як і потік”. Під час імпульсу на одній з основ вмикається гранична умова “припливний отвір” із сильно закрученим потоком, який звужується під достатнім кутом (наприклад, біля 45°) для компенсації розширювальної дії відцентрових сил (рис. 1).

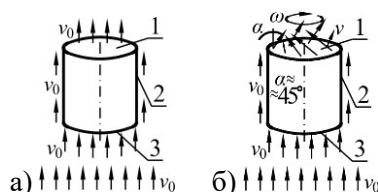


Рис. 1. Схема вихрової гармати:

а – стан спокою, б – імпульс:

- 1 – гранична умова “припливний отвір”, 2 – гранична умова “стінка, що рухається”, 3 – гранична умова “витяжний отвір”

Як показали авторські дослідження, тривалість імпульсу, швидкість потоку та швидкість закрутки, які забезпечують формування одиночного вихору, що проходить з потоком необхідну для конкретної моделі відстань, залежать від швидкості потоку, кроку розрахункової сітки, часового кроку розрахунку, і має підбиратися для кожної задачі методом спроб і помилок. Оскільки такі вихори самовільно затухають, то швидкість повітря при імпульсі має бути в кілька разів або на порядок вище за швидкість потоку.

Ще однією проблемою є неможливість безпосереднього моделювання дрібних вихорів, оскільки вони враховуються в моделі числовими параметрами K , ε тощо. Таким чином, єдиною можливістю візуалізації проходження дрібного вихору крізь решітку є моделювання решітки великих розмірів, несумірних з

розміром вихору. Більшість програм обчислювальної гідродинаміки дозволяє моделювати нескінченно великі решітки заданням граничної умови “періодичність” на межах розрахункової області.

Моделювання виконано за трьома варіантами:

Прямий канал з решіткою (рис. 2);

Вихор, сумірний з розміром решітки (рис. 3);

Вихор з нескінченно великою решіткою (рис. 4).

Перший варіант моделюється доріжкою Кармана, а інші – вихровою гарматою.

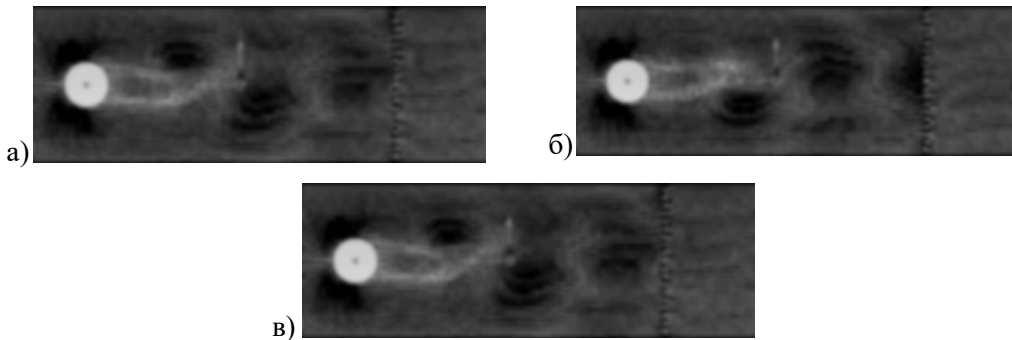


Рис. 2. Моделювання вихорів у каналі з решіткою:
а, б та в – послідовні моменти часу

За всіх варіантів моделювання повітря вихору повністю проходить решітку без залишків та утворення вторинних вихорів перед решіткою, тому вся енергія видаляється решіткою разом з цим повітрям. Таким чином, припущення про неможливість видалення енергії турбулентних пульсацій з приміщення не знайшло підтвердження при математичному моделюванні потоків. За рахунок руйнування вихору при проходженні решіток відбувається часткове перетворення енергії великих вихорів на енергію малих. Решта енергії перетворюється на теплову, але обидва види енергії видаляються з витяжним повітрям.

На підставі результатів моделювання пропонується припущення, що вся енергія турбулентних вихорів, які потрапили до спектра всмоктування витяжного отвору, повністю видаляється з приміщення.

Висновки. У результаті математичного моделювання показано, що припущення щодо неможливості видалення енергії турбулентних пульсацій з приміщення є недостатньо обґрунтованим для визначення турбулентних характеристик потоків приміщення. Запропоновано припущення про повне видалення енергії турбулентних пульсацій з приміщення, яке обґрунтовано в результаті математичного моделювання.

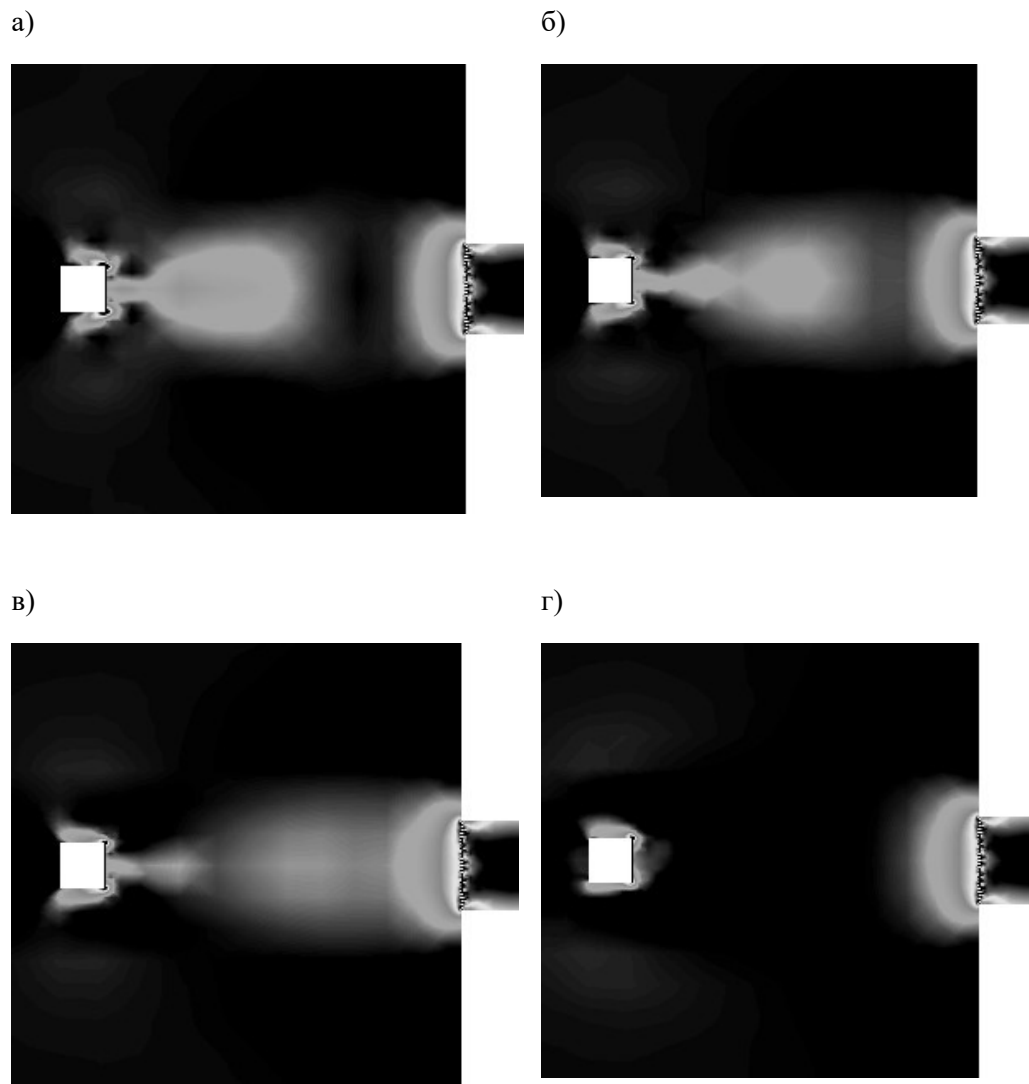


Рис. 3. Моделювання вихору, сумірного з розміром решітки:
а, б, в та г – послідовні моменти часу

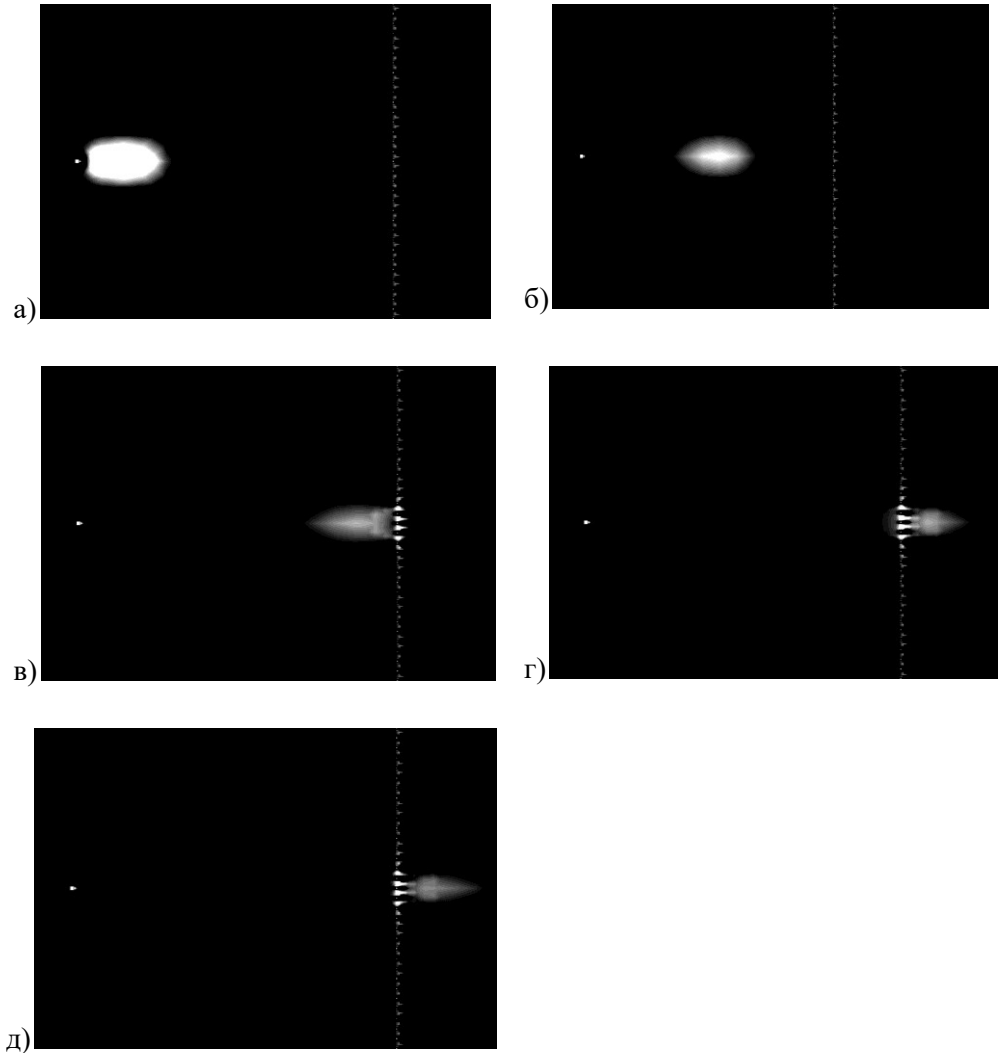


Рис. 4. Моделювання вихору та нескінченної решітки:
а, б, в та г – послідовні моменти часу

Перспективи подальших досліджень. Дана робота є початком циклу робіт стосовно удосконалення енергетичного методу оцінки ефективності організації повітрообміну та отримання комплексного критерію ефективності, який ураховує усереднений розподіл параметрів повітря та пульсаційні характеристики турбулентних потоків у приміщенні. Першочерговими задачами є аналіз впливу рухомих тіл (люди, механізми тощо) на формування параметрів мікроклімату та перетворення енергії при взаємодії струминних течій між собою й з твердими перешкодами.

Література

1. Позин Г. М. Новый подход к оценке эффективности воздухообмена / Г. М. Позин // Современные проблемы науки и образования. Электронный научный журнал [Электронный ресурс]. – 2012. – № 4. [Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=65711>].
2. ДСТУ Б EN 15242:2015. Вентиляція будівель. Розрахункові методи визначення витрат повітря на вентиляцію будівель з урахуванням інфільтрації. – увед. вперше. - К.: Укрархбудінформ, 2016. - 76 с.
3. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. –3-е изд. М.: Химия, 1980. - 288 с.
4. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарёв. – Спб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с
5. Жуковський С.С. Аеродинаміка вентиляції: навчальний посібник / С.С. Жуковський, В.Й. Лабай. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 372 с.

Анализ гидродинамических процессов при прохождении вихря через вытяжное устройство

В.Б. Довгалиук, В.А. Милейковский, А.Ю. Мусаева

Работа открывает цикл работ по энергетическому анализу эффективности организации воздухообмена. Путём вычислительной гидродинамики была проверена известная гипотеза, что вся энергия турбулентных пульсаций остаётся в помещении, и не удаляется вытяжной вентиляцией. Показано недостаточную обоснованность этой гипотезы. Вместо этого обосновано предположение, что вся энергия турбулентных вихрей, которые попали в спектры всасывания вытяжных устройств, безвозвратно удаляется из помещения.

Analysis of hydrodynamic processes during a vortex passage through an exhaust opening

V. Dovhaliuk, V. Mileikovskiy, A. Musaieva

The work opens a series of works on the analysis of the energy efficiency of air exchange organization. By computational fluid dynamics the known hypothesis, that all of the turbulent pulsations energy can not leave a room and can not be removed by exhaust ventilation, has been checked. The lack of validity of this hypothesis is shown. Instead of it the assumption, that all of the energy of turbulent vortices that got to absorption spectrums of exhaust devices are permanently removed from the premises, is grounded.

Надійшла до редакції 23.05.2016 р.