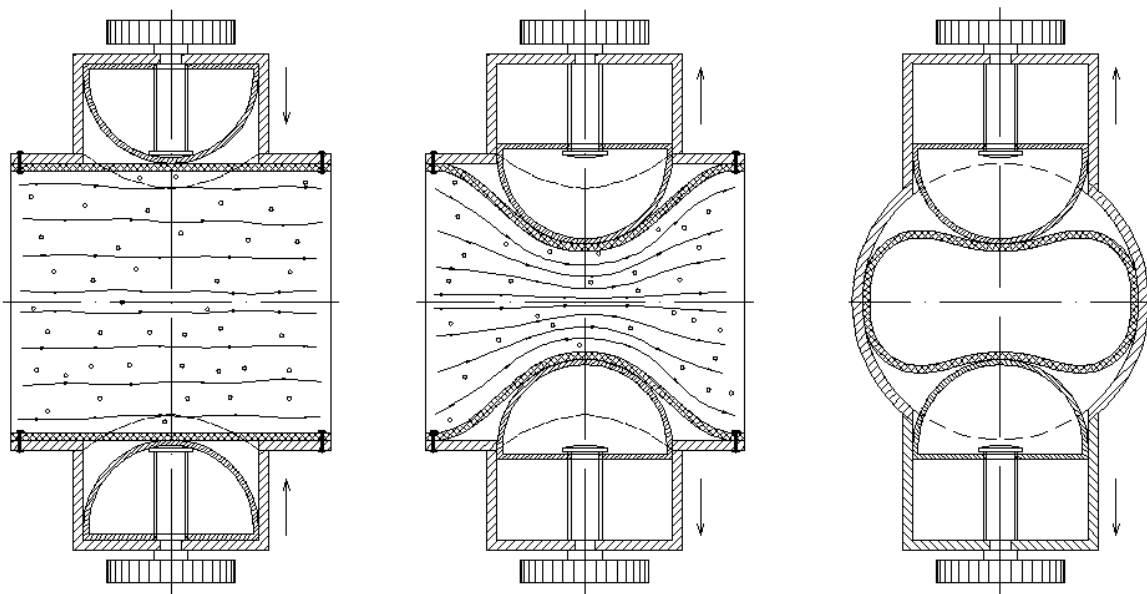


Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський

РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА АСПІРАЦІЇ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський

**РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ
АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ
В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА АСПІРАЦІЇ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 697.9 (075.8)

ББК 39.76

P25

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 25.06.2015 р.)

Рецензенти:

О. Ф. Редько, доктор технічних наук, професор (ХНУБА)

С. Й. Ткаченко, доктор технічних наук, професор (ВНТУ)

Ратушняк, Г. С.

P25 Регулювання витрати аеродинамічних потоків в системах вентиляції та аспірації : монографія / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 112 с.

ISBN 978-966-641-643-1

Проаналізовано тенденції вдосконалення механізмів регулювання аеродинамічних потоків вентиляційних та аспіраційних систем. Запропоновано математичні моделі багатofакторної оцінки енергоємності та прогнозованої надійності функціонування вентиляційних та аспіраційних систем. Підтверджено енергоощадність запропонованих регулювальних пристроїв із зручнообтінними виконавчими елементами.

Книга розрахована для фахівців систем вентиляції та аспірації, а також для студентів, магістрантів та аспірантів спеціальності будівництва та цивільна інженерія.

УДК 697.9(075.8)

ББК 39.76

ISBN978-966-641-643-1

© Г. Ратушняк, Р. Степанковський, 2015

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ РЕГУЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ТА АСПРАЦІЙНИХ СИСТЕМ	7
1.1 Конструкції виконавчих механізмів та регулювальних органів вентиляційних та аспіраційних систем	7
1.2 Аеродинамічні мережі з перемінною витратою та їх регулювальні пристрої	15
1.3 Особливості аеродинамічного процесу регулювання витрати багатофазного середовища	20
1.4 Основні тенденції моделювання турбулентних потоків в аеродинамічних системах	25
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ УДОСКОНАЛЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ТА АСПРАЦІЙНИХ СИСТЕМ	32
2.1 Аналіз впливу конструкцій регулювальних пристроїв аеродинамічних потоків на величини місцевих опорів	32
2.2 Модель багатофакторної оцінки енергоємності вентиляційних та аспіраційних систем	39
2.3 Моделювання прогнозованої надійності функціонування вентиляційних та аспіраційних систем	57
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ РЕГУЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ НА РОБОЧІ ПАРАМЕТРИ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ ТА АСПРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	64
3.1 Задачі та об'єкт експериментальних досліджень	64
3.2 Методика експериментальних досліджень та результати чисельного моделювання робочих параметрів системи аспірації з різними конструкціями регулювальних пристроїв	67

3.2.1 Конструктивно-технологічна схема експериментальної установки.....	67
3.2.2 Планування багатофакторного експерименту дослідження робочих параметрів регулювальних пристроїв системи аспірації.....	72
3.2.3 Чисельне моделювання робочих параметрів систем аспірації з різними конструкціями регулювальних пристроїв	79
3.3 Експериментальні дослідження роботи регулювальних пристроїв в системі вентиляції	82
3.4 Експериментальні дослідження робочих характеристик регулювального пристрою з зручнообтічними виконавчими елементами в системах аспірації підприємств харчової та переробної промисловості.....	88
3.5 Експериментальні дослідження впливу регулювального пристрою з зручнообтічними виконавчими елементами на втрати тиску в коліні вентиляційної системи	95
ВИСНОВКИ.....	102
ЛІТЕРАТУРА	103

ВСТУП

В межах національної проблеми із забезпечення економічної та екологічної безпеки шляхом регулювання енергозбереження суттєва увага приділяється впровадженню інноваційних технологій з підтримання санітарно-гігієнічних параметрів повітря в робочій зоні приміщень. Завдяки повітрообміну підтримуються оптимальні побутові, технологічні й мікрокліматичні умови в приміщеннях. Системи забезпечення мікроклімату також сприяють покращенню умов для технологічних процесів, особливо тих які впливають на якість продукції підприємств переробної та харчової промисловості.

Для забезпечення повітрообміну за допомогою систем вентиляції та аспірації необхідна відповідна сукупність устаткування й агрегатів для переміщення, розподілення й вилучення забрудненого повітря. Енергоощадність, тобто економічна ефективність, систем вентиляції та аспірації може бути забезпечена шляхом оптимального керування аеродинамічними потоками повітропроводів. Для вирішення цієї проблеми необхідне розроблення науково обґрунтованих механізмів інтелектуальної підтримки прийняття рішень при розробленні інноваційних проектів з підвищення енергоощадності систем повітрообміну, що створюють сприятливі умови для технологічних процесів. Щоб вирішити ці проблеми, потрібно розробити математичні моделі оцінки енергоємності прогнозованої надійності вентиляційних та аспіраційних систем, а також розробити енергоощадні конструкції регулювальних пристроїв й дослідити їх вплив на робочі параметри аеродинамічної мережі.

Однією із причин значної енергоємності та низької надійності систем забезпечення мікроклімату приміщень є відсутність комплексного інструментарію для оцінювання і прогнозування їх стану, який би врахував кількісні та якісні фактори впливу. Математичні моделі, при розробленні яких використовується теорія нечіткої логіки й лінгвістичних змінних та нейро-нечіткі мережі, дозволяють оптимізувати та налаштувати отриману модель згідно з експериментальними даними, що характеризують надійність систем вентиляції та аспірації.

За результатами порівняльного аналізу науково-технічних розробок та досліджень в галузі регулювання потоків аеродинамічних систем визначено основні переваги та недоліки існуючих регулювальних

пристроїв. Підтверджено, що використання в регулювальних пристроях аеродинамічних систем незручнообтічних твердих тіл у вигляді пластин призводить до утворення негативних аеродинамічних явищ, що збільшує енергоємність систем вентиляції та аспірації. Встановлено, що застосування вентиляційних систем з перемінною витратою повітря є ефективним технічним рішенням, оскільки приводить до загального зменшення витрати повітря. Обґрунтована доцільність використання регулювальних пристроїв аеродинамічних мереж з зручнообтічною формою, що сприяє оптимізації аеродинамічної структури потоку, а також більш точному й плавному регулюванню витрати робочого середовища.

Використовуючи метод багатофакторного планування експерименту, досліджено вплив конструктивно-технологічних параметрів регулювальних пристроїв та концентрації домішок транспортованого середовища на втрати тиску в аеродинамічній мережі. За результатами дослідження робочих параметрів аеродинамічних мереж на експериментальній установці виявлено енергоефективність регулювальних пристроїв запропонованої конструкції з зручнообтікаючими виконавчими елементами. Позитивний результат досягається за рахунок розширення спектра регулювання та зменшення втрати тиску на забезпечення робочих параметрів систем вентиляції та аспірації.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ РЕГУЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ТА АСПІРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

1.1 Конструкції виконавчих механізмів та регулювальних органів вентиляційних та аспіраційних систем

При проектуванні вентиляційних та аспіраційних систем, в подальшому аеродинамічні системи, з високими швидкостями та збільшенням в зв'язку з цим втрат тиску в місцевих опорах різко знижуються можливості регулювання системи для роботи в розрахунковому режимі. В результаті в розгалужених аеродинамічних системах витрати електроенергії та теплоти збільшуються через неможливість досягнення розрахункових витрат повітря в найбільш віддалених від вентилятора ділянках. В таких випадках збільшують частоту обертання робочого колеса вентилятора або замінюють його на більш продуктивний за витратою та тиском, в результаті чого збільшується витрата енергоресурсів [6, 13, 16, 59, 72, 95].

Удосконалення регулювання вентиляційних та аспіраційних систем сприяє підвищенню їх енергетичної ефективності і виробництва в цілому. Найбільш істотний вплив на втрати енергії (напору) потоку аеродинамічного середовища мають місцеві опори. Складність розрахунку аеродинамічних параметрів в регулювальних пристроях обумовлена наявністю в них змін швидкості руху, відриву потоку, виникнення вихроутворень, що призводить до нестабільності турбулентності [6, 11, 13, 16, 17, 42, 59, 84, 103]. Основними причинами невідповідності фактичних витрат робочого середовища проектним на ділянках вентиляційних та аспіраційних систем є [11, 13]:

- неможливість досягнення точної ув'язки втрат тиску в вузлах сполучення (розділення) повітряних потоків через неточне виготовлення та монтаж повітропроводів;

- складність точного розрахунку їх опору: наближеними є коефіцієнти місцевих опорів, значення яких часто відрізняються від прийнятих величин через взаємний вплив близького розташування трійників, відводів та інших джерел місцевих опорів;

- нечіткість налагоджування системи при використанні наявних в теперішній час засобів регулювання (не враховується можливість по-

хибки при осьових замірах швидкостей повітря через зміну цих швидкостей не на осі їх заміру); похибка замірів приладів часто досягає 15–20 %;

– недостатньо точне регулювання налагоджувальниками витрати повітря по окремих ділянках системи через велику трудомісткість цієї роботи; при зміні положення заслінок (дросель-клапанів) на одному з відгалужень відбувається перерозподіл витрат повітря в усіх ділянках повітропроводу, тому налагоджувальні операції доводиться повторювати багато разів, поступово наближаючись до проектних рішень.

Класифікація пристроїв для регулювання повітряних потоків в аеродинамічних системах наведена на рис. 1.1 [12, 59, 96].

Регулювання аеродинамічної мережі полягає в штучному зменшенні продуктивності вентиляційної установки від початкової величини до заданої. При зменшенні продуктивності знижується потужність, що витрачається вентилятором, в залежності від способу регулювання [12, 13, 16, 17].



Рисунок 1.1 – Класифікація пристроїв для регулювання повітряних потоків

Регульованою ділянкою, що має опір Δp , називається ділянка (або вся мережа в цілому), на межах якої тиск повітря залишається незмінним при будь-якому положенні стулок клапана. Коливання тиску на межах регулювальної ділянки допускається в межах $\pm 15\%$ початкових. При необхідності створення ув'язки відгалужених ділянок мережі, втрати тиску повинні підтримуватись додатковими регуляторами [16].

Основна вимога до регулювальних пристроїв – це можливість плавної зміни продуктивності від максимального значення для заданої вентиляційної установки до заданого значення. При цьому регулювальний пристрій повинен відповідати вимогам економічності, тобто бути таким, щоб зменшення витрати повітря відбувалось при найбільшому зниженні потужності вентиляційної установки, що ним споживається.

Осьові вентилятори регулюються, крім того, поворотом лопатей колеса та напрямного апарату, який є елементом його конструкції. Тому повертання лопатей цього апарату, як і повертання лопатей колеса вентилятора, фактично змінює аеродинамічну схему вентилятора, а отже, і його аеродинамічні характеристики. В каталогах аеродинамічні характеристики вказані для різних кутів повертання лопатей колеса і лопатей напрямного апарату, що зручно для вибору вентилятора за заданими умовами [13, 22, 90].

Регулювання аеродинамічних мереж може здійснюватись різними способами (рис. 1.2) [59, 72, 95, 96].

Для регулювання витрат робочого середовища аеродинамічних систем широко застосовують дросель-клапани, регулювальні пристрої, шибери [13, 16, 17, 20]. Виконавчим елементом у наведених конструкціях є пластина або, ряд пластин, перфоровані пластини, при зовнішньому впливі на яких відбувається процес регулювання витрати робочого середовища. Клапани з поворотними стулками найбільш поширені. Клапани шиберного типу служать головним чином для ручного налагоджування.

Багатостулкові клапани з поворотними стулками бувають двох видів: а) паралельно-стулкові (рис. 1.3а), що мають стулки, площини яких паралельні між собою та обертаються в одному напрямку; б) непаралельно-стулкові (рис. 1.3б), в яких сусідні стулки обертаються в протилежних напрямках. Одностулкові (рис. 1.4) та непаралельно-стулкові клапани, в порівнянні з паралельно-стулковими, відрізняються більш плавним регулюванням [12, 96].



Рисунок 1.2 – Способи регулювання продуктивністю вентиляційних установок



Рисунок 1.3 – Багатостулкові регулюючі клапани з поворотними стулками:
а) паралельно-стулкові; б) непаралельно-стулкові

Аеродинамічні характеристики багатостулкових регулювальних клапанів за даними Л. В. Павлухіна наведено на рис. 1.4 [96].

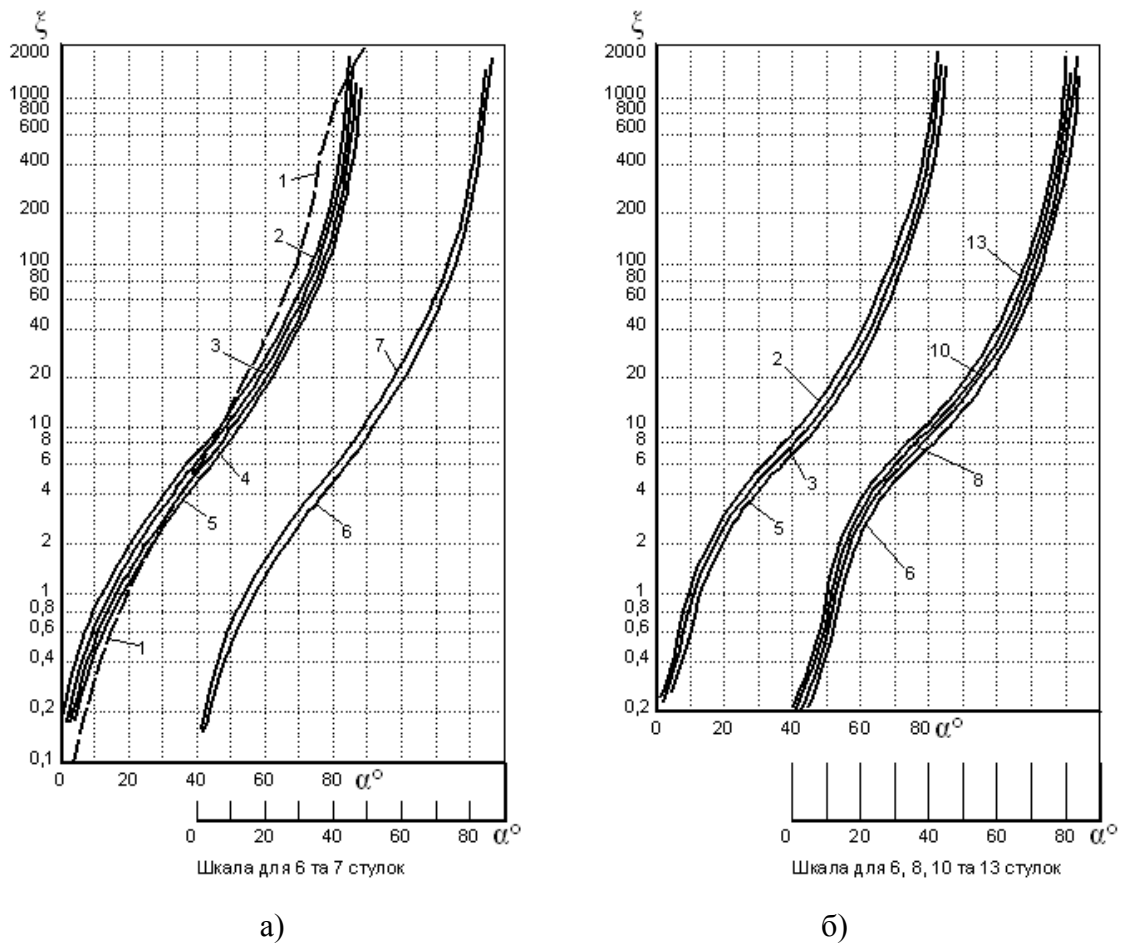


Рисунок 1.4 – Аеродинамічні характеристики багатостулкових регулювальних клапанів: а) неутеплені з 1...7 стулками (криві 1–7); б) утеплені з 2, 3, 5 стулками (криві 2, 3, 5) та 6, 8, 10, 13 стулками (криві 6, 8, 10, 13)

Аналіз аеродинамічних характеристик неутеплених багатостулкових клапанів свідчить, що плавність регулювання клапанів з різною кількістю стулук однакова. Але при цьому можлива невелика розбіжність величини коефіцієнта місцевого опору ξ (див. рис. 1.4а).

Аналіз аеродинамічних характеристик утеплених багатостулкових клапанів свідчить про неоднакову плавність регулювання клапанів з різною кількістю стулук. Особливо значна розбіжність спостерігається при кількості стулук 6, 8, 10, 13 шт. в області регулювання при куті повороту стулук від 10° до 40° . Також наявна розбіжність величини коефіцієнта місцевого опору ξ клапана з кількістю стулук

6, 8, 10 13 у вищенаведеній області у порівнянні з кількістю стулок 2, 3, 5 в наведеній області регулювання (див. рис. 1.4б).

Аеродинамічні характеристики шиберів в повітропроводах прямокутного та круглого перерізах за даними Ю. Л. Вейсбаха наведено на рис. 1.5 [96].

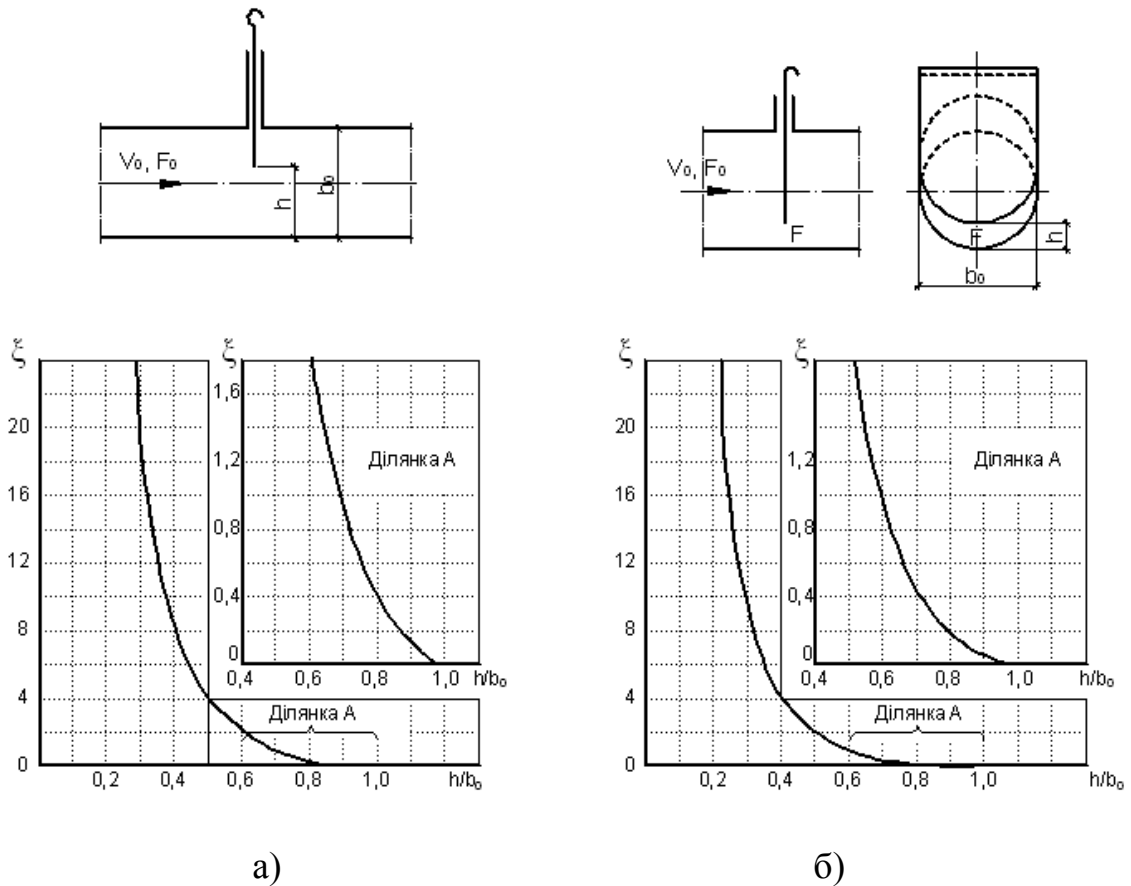


Рисунок 1.5 – Схема та аеродинамічна характеристика шибера:

а, в – повітропроводу прямокутного перерізу;

б, г – повітропроводу круглого перерізу

Аналіз аеродинамічних характеристик шиберів в повітропроводі прямокутного та круглого перерізів (див. рис. 1.5в, г) свідчить, що регульовальний пристрій, виконаний у вигляді шибера в повітропроводі круглого перерізу, має більший розширений спектр регулювання (див. рис. 1.5г). Збільшення спектра регулювання в повітропроводах круглого перерізу пояснюється наявністю стабільної аеродинамічної структури течії по перерізу повітропроводу, впорядкованого градієнта швидкостей, зменшення вихрових зон, у порівнянні з повітропроводом прямокутного перерізу.

Найбільш розповсюдженими є одностулкові дросель-клапани круглого та прямокутного перерізів з ручним і автоматичним управлінням (рис. 1.6).

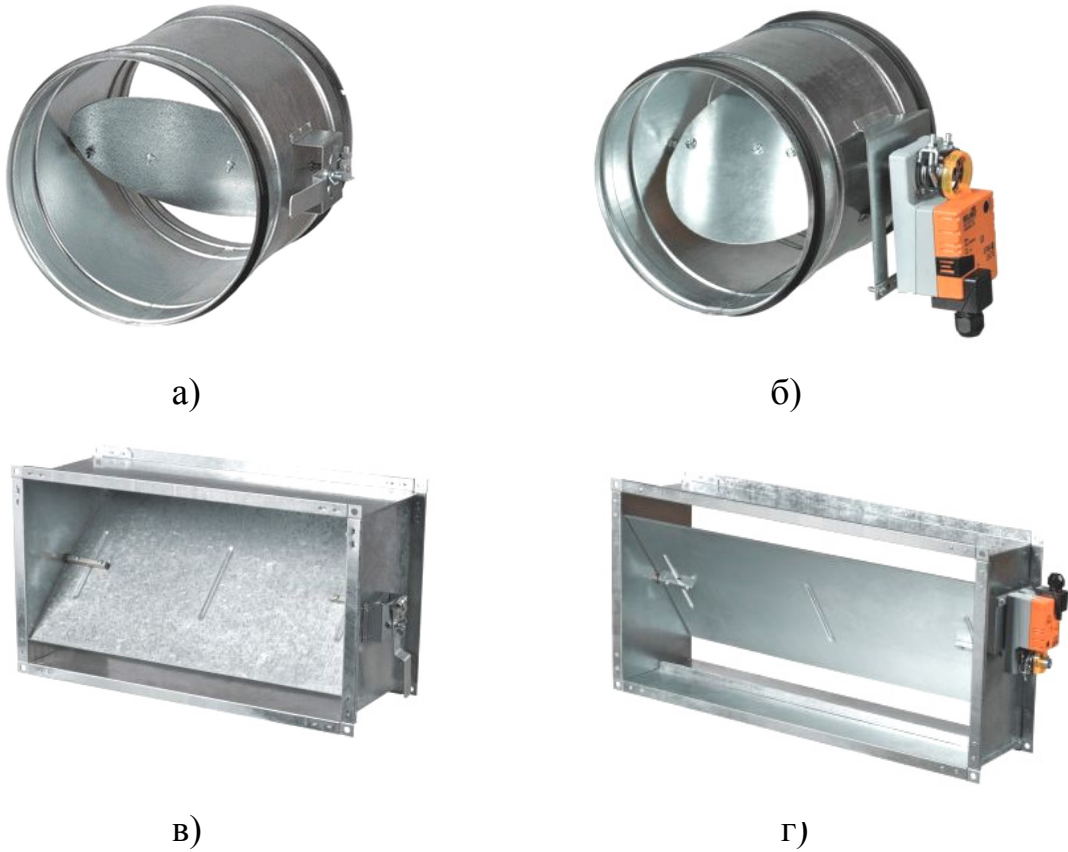


Рисунок 1.6 – Одностулкові регулювальні клапани з поворотними стулками:
а, б – круглого перерізу, відповідно, з ручним та автоматичним управлінням;
в, г – прямокутного перерізу, відповідно, з ручним та автоматичним управлінням

Для отримання постійної витрати повітря в межах перепаду тиску від 50 до 200 Па використовується регулятор постійної витрати повітря (рис. 1.7), який розміщується всередині повітропроводу [46]. Потік повітря, проходячи через заданий поперечний переріз, змінює свою витрату.

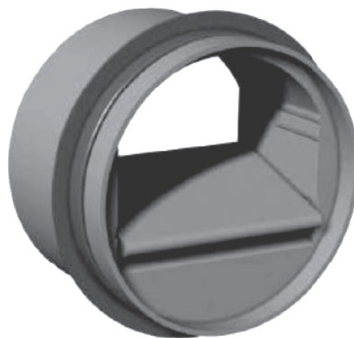


Рисунок 1.7 – Регулятор постійної витрати повітря

Для регулювання витрати повітря на відгалуженнях аеродинамічної системи під час пусконаладжувальних робіт застосовується регулювальна діафрагма (рис. 1.8) [45, 46]. Основним елементом регулювальної діафрагми є диск з отвором змінного перерізу, що працює за принципом діафрагми фотоапарата.

Для точного регулювання, з похибкою не більше 10 %, витрати повітря діафрагма повинна бути встановлена на відстані не менше 1,5 діаметра до найближчого відводу та 2,5 діаметра до трійника або повітродіподілювача.



Рисунок 1.8 – Регулювальна діафрагма

Регулювання продуктивності вентилятора шляхом введення в мережу додаткового опору (дроселювання) на практиці знайшло широке застосування. При введенні в мережу додаткового опору (рис. 1.9) крива переміщується вліво на графіку $Q - P_v$ [16]. Вліво переміщується і робоча точка вентилятора, відповідно, цьому понижуюється створювана ним продуктивність. Якщо до введення додаткового опору (дроселя) в мережу вентилятор продуктивністю Q_A при тиску P_{vA} споживав потужність

$$N = \frac{Q_A \cdot P_{vA}}{3600 \cdot \eta_A}. \quad (1.1)$$

Після введення дроселя продуктивність знизиться до величини Q_B при тиску P_{vB} , а споживана потужність, що витрачається на подолання опору мережі з дроселем, буде рівна

$$N_B \cong \frac{Q_B \cdot P_{vB}}{\eta_B} \cong \frac{Q_B \cdot P_{vB}}{\eta_B} \frac{P_{vB}}{P_{vB}} \cong N_B \frac{P_{vB}}{P_{vB}}. \quad (1.2)$$

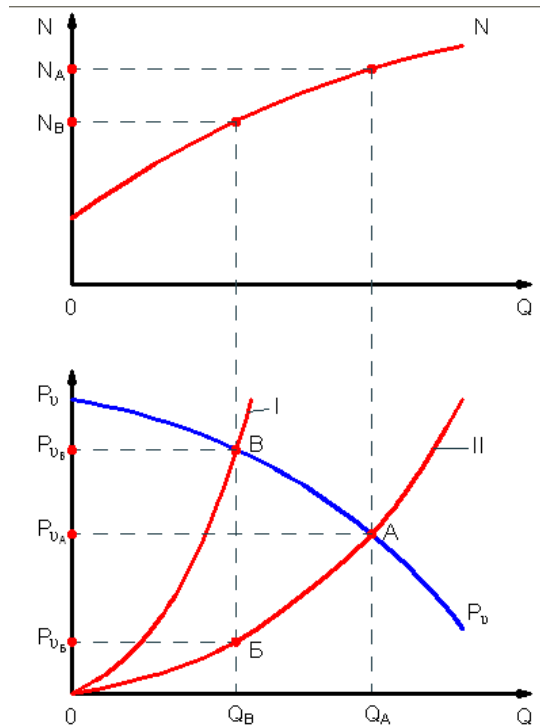


Рисунок 1.9 – Регулювання вентилятора шляхом введення в мережу додаткового опору (дроселя)

Аналіз формули (1.2) свідчить, що значна частина споживаної вентилятором потужності витрачається на подолання опору дроселя.

Згідно з графіком (див. рис. 1.9) регулювання вентилятора шляхом введення в мережу додаткового опору призводить до зниження потужності, про що свідчить крива від точки А до В, яку називають дросельною кривою вентилятора. Отже, ефективність дроселювання значною мірою залежить від типу вентилятора та конструктивних особливостей регулювальних пристроїв [4].

1.2 Аеродинамічні мережі з перемінною витратою та їх регулювальні пристрої

Одним з складних ефективних технічних рішень є вентиляційні системи з перемінною витратою повітря (VAV – Variable Air Volume) [92]. Зміна теплового навантаження приміщення компенсується через зміну об'ємів припливного та витяжного повітря при його постійній температурі, що поступає від центральної припливної системи. Вентиляційна мережа VAV реагує на зміну теплового навантаження окремих приміщень або зон будівлі та змінює фактичну витрату повітря, що подається в задане приміщення або зону [92]. Внаслідок цього вентиляційна система VAV працює при загальному значенні витрати

повітря менше, ніж необхідно при сумарному тепловому навантаженні всіх окремих приміщень. Це забезпечує зниження споживання енергії при збереженні заданої якості повітря всередині приміщення, яке складає 25 % та вище у порівнянні з вентиляційними системами з постійною витратою повітря.

Найбільш суттєвими перевагами вентиляційних систем VAV є:

- індивідуальне регулювання параметрів повітря в окремих приміщеннях;
- можливість використання сенсорів руху та кількості діоксиду вуглецю CO₂, реле часу та ручних регуляторів для зміни витрати повітря;
- можливість неперервного контролю кількості повітря в окремих відгалуженнях аеродинамічної мережі;
- можливість централізованого керування витратою повітря в пристрої;
- спрощення процесу введення в роботу та налагодження вентиляційної мережі;
- зниження споживання електроенергії.

Однією з основних переваг системи з перемінною витратою повітря VAV є можливість при необхідності зменшення кількості повітря у порівнянні з вентиляційними системами з постійною витратою повітря (CAV). Загальний об'єм витрати повітря в вентиляційній системі CAV обумовлений максимальним тепловим навантаженням, що визначається потребою в припливному повітрі. Але для всієї будівлі при різних режимах експлуатації приміщень, а також нерівномірних теплових навантажень, обумовлених орієнтацією будівлі за сторонами світу, кількості людей в приміщеннях, теплове навантаження в них різне. Коефіцієнт одночасності сучасних будівель в середньому складає 0,7–0,8. Через зміну потребу в максимальній витраті повітря у всіх частинах будівлі доцільно використовувати вентиляційні системи з перемінною витратою повітря VAV, регулятори яких змінюють кількість повітря в залежності від поточної потреби конкретного приміщення. В результаті цього в кожний певний момент часу основний потік повітря направляється в приміщення, в яких є найбільша потреба в вентиляванні. Внаслідок цього такі вентиляційні мережі можуть проектуватись на менші значення витрати повітря, що приводить до зменшення розмірів повітропроводів, необхідної потужності обладнання та, відповідно, зниження енергоспоживання. На етапі проектування виникає необхідність в детальному аналізі зміни поточної потреби в

повітрі та оцінці максимальних значень витрати повітря, які в різні проміжки часу змінюються в окремих приміщеннях чи зонах будівлі.

Основним елементом вентиляційної системи VAV є регулятор (термінал) VAV (рис. 1.10), який підтримує задану температуру і витрату повітря в приміщенні. В залежності від сигналу, який передається від температурного регулятора, ручного регулятора, що розміщуються в зоні обслуговування будівлі або приміщенні, здійснюється керування роботою регулятора VAV.



Рисунок 1.10 – Регулятори VAV вентиляційної мережі з перемінною витратою повітря: а) круглого перерізу; б) прямокутного перерізу

При незмінному положенні дросельної стулки витрата повітря змінюється в залежності від зміни тиску в подавальному повітропроводі. Контроль величини кількості повітря не виконується (рис. 1.11) [92].

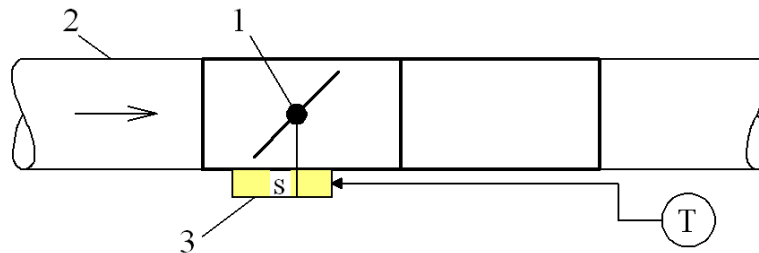


Рисунок 1.11 – Робота регулятора VAV, що залежить від тиску:
1 – дросельний засув регулятора; 2 – повітропровід;
3 – електропривід дросельного засуву

Витрата повітря не залежить від тиску в подавальному повітропроводі, оскільки відбувається постійний контроль значення витрати та підтримання його в заданому діапазоні від V_{\min} до V_{\max} (рис. 1.12).

Принцип дії терміналу VAV

Основною задачею регулятора VAV є підтримання заданої кількості припливного та витяжного повітря в залежності від поточної потреби, необхідна величина якого визначається значенням зовнішнього

керуючого сигналу. Цей сигнал надходить на регулятор від влаштованих в приміщеннях будівлі температурних регуляторів, сенсорів CO₂ або інших елементів систем керування (рис. 1.13).

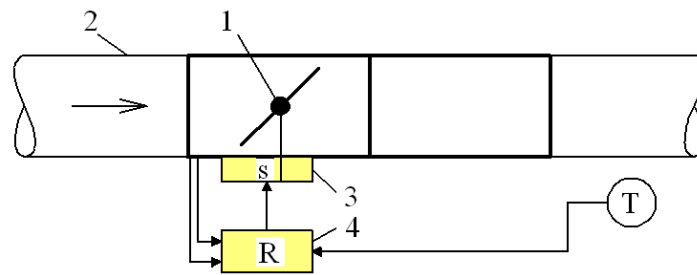


Рисунок 1.12 – Роботи регулятора VAV, що не залежить від тиску:
 1 – дросельний засув регулятора; 2 – повітропровід;
 3 – електропривод дросельного засуву; 4 – VAV регулятор

На вимірювальних елементах VAV-термінала, що влаштовані в вентиляційному каналі, виникає перепад тиску, величина якого залежить від швидкості повітря. Значення такого перепаду передається на вимірювальний перетворювач, в якому визначається фактична витрата повітря в залежності від площі поперечного перерізу термінала. Значення поточної витрати повітря зрівнюється з заданим. Виходячи з цього порівняння формується величина відхилення параметра системи регулювання, на основі якого генерується сигнал для зміни положення дросельної засувки.

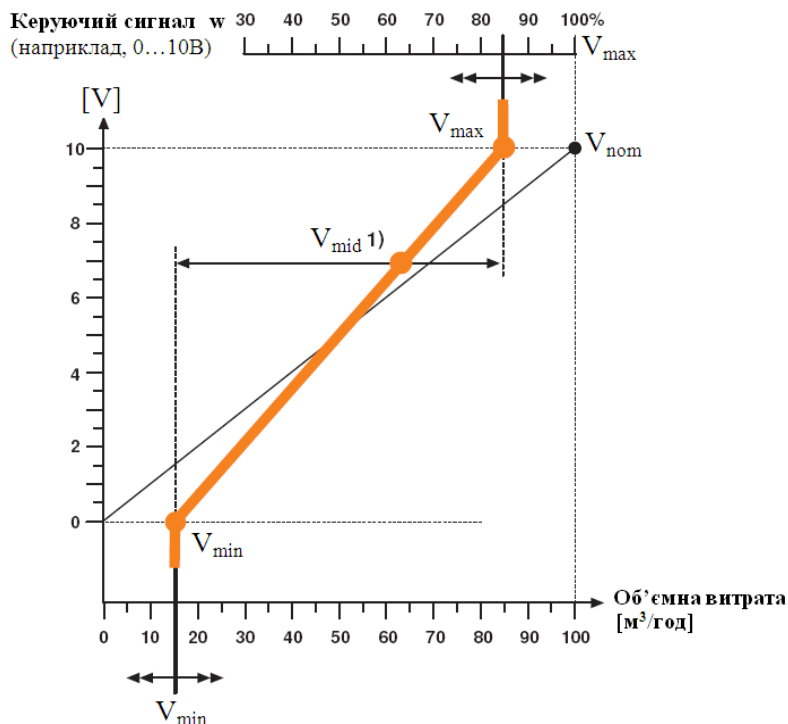


Рисунок 1.13 – Залежність об'ємної витрати повітря від величини сигналу керування, що надходить на регулятор VAV

Основні елементи терміналу VAV та взаємозв'язки між ними наведено на рис. 1.14.

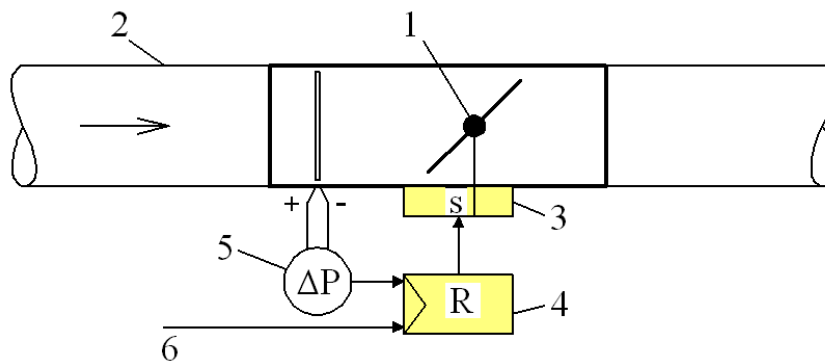


Рисунок 1.14 – Основні елементи терміналу VAV:
 1 – дросельний засув регулятора; 2 – повітропровід;
 3 – електропривод дросельного засуву; 4 – VAV регулятор;
 5 – перетворювач перепаду тиску; 6 – зовнішній керуючий сигнал

Однією з основних переваг вентиляційної системи з перемінною витратою повітря є можливість зменшення кількості повітря при необхідності в порівнянні з вентиляційними системами з постійною витратою повітря. Це обумовлюється тим, що в будівлі як при різних режимах експлуатації приміщень, нерівномірності теплових навантажень приміщень будівлі, так і окремих зон, теплове навантаження та шкідливі виділення різні. Тому виникає необхідність у застосуванні вентиляційних систем з перемінною витратою повітря, регулятори яких змінюють кількість повітря в залежності від поточної потреби витрати повітря окремого приміщення чи зони будівлі. В визначений момент часу основний потік повітря направляється в приміщення з найбільшою потребою в вентиляванні. Отже, різні потреби у вентиляванні приміщень або окремих зон будівлі вимагають зменшення витрат повітря, розмірів вентиляційних каналів та потужності вентиляційного агрегату.

До недоліків наведеної системи можна віднести традиційну конструкцію регулювального пристрою з влаштованим регулювальним елементом всередині конструкції, при набіганні потоку повітря на останній спостерігається інтенсивність вихроутворення та нестабільність турбулентності потоку. Це призводить до невідповідності роботи між електроприводом дросельної засувки та регулятором температури й перетворювача перепаду тиску.

1.3 Особливості аеродинамічного процесу регулювання витрати багатофазного середовища

Через відсутність регулювання (стулка паралельна течії робочого середовища) розміщення виконавчого елемента всередині традиційних регулюючих елементів призводить до утворення місцевого опору при перетіканні через останній. Це спричиняє до утворення місцевих втрат тиску та збільшення енергозатрат.

Для прикладу проаналізовано графічну залежність втрат тиску на регуляторі RVP-R системи VAV [92, 98] при повністю відкритому регульовальному елементі – металева стулка (рис. 1.15).

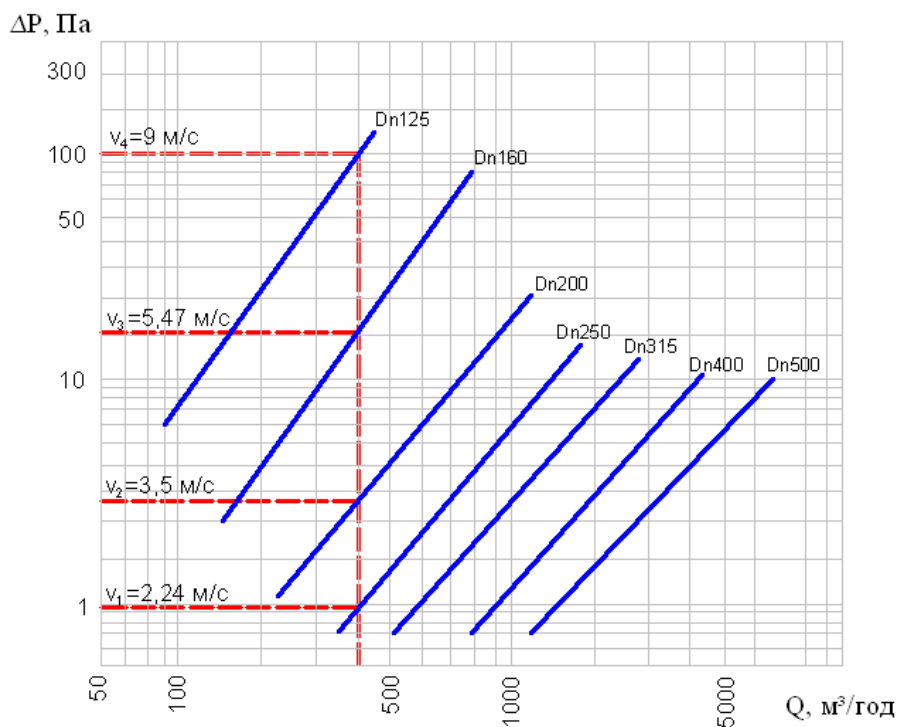


Рисунок 1.15 – Втрати тиску на регуляторі RVP-R системи VAV при повністю відкритому регульовальному елементі

Аналіз графіка (див. рис. 1.15) свідчить, що при однаковій витраті повітря та різних діаметрах повітропроводу на регуляторі виникають різні втрати тиску. Так, наприклад, при витраті повітря $Q = 400 \text{ м}^3/\text{год}$ та діаметрі $Dn = 250 \text{ мм}$ при повністю відкритому регульовальному елементі втрати тиску складають $\Delta P \approx 1 \text{ Па}$, а при $Dn = 125 \text{ мм}$ втрати тиску складають $\Delta P \approx 100 \text{ Па}$. Тобто, при відсутності процесу регулювання (регульовальний елемент знаходиться паралельно течії повітря), через наявність регульовального органу, ви-

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика / Г. Н. Абрамович – М. : Наука, 1976. – 544 с.
2. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
3. Александров А. Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях / А. Н. Александров, Г. Ф. Козориз. – М. : Лесная промышленность, 1988. – 248 с.
4. Алексин В. А. Математические модели турбулентных течений : учеб. пособие / В. А. Алексин. – М. : МГИУ, 2008. – 54 с.
5. Алиев Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. Справочник / Г.М.-А. Алиев. – М. : Metallurgia, 1986. – 544 с.
6. Альтшуль А. Д. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости) : учеб. пособ. для вузов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. / А. Д. Альтшуль, П. Г. Киселев. – М. : Стройиздат, 1975. – 323 с.
7. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер ; пер. с англ. С. В. Сенина, Е. Ю. Шальмана ; под ред. Г. Л. Подвидза. – М. : Мир, 1990. – 728 с.
8. Андрийчук К. Н. Системи вентиляції зі струминними елементами регулювання : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 : захищена 15.02.07 : затв. 24.05.12 / Андрийчук Костянтин Миколайович. – М., 2007. – 156 с. – Бібліогр.: С. 134–146. – 04200201565.
9. Андрийчук К. Н. Математическое моделирование аэродинамических характеристик элементов и систем вентиляции / К. Н. Андрийчук, Н. Д. Андрийчук. – Луганск : Издательство ВНУ им. В. Даля, 2005. – 88 с.
10. Андрийчук К. Н. Обобщенная математическая модель аэродинамических характеристик приточно-вытяжной вентиляционной системы. К.Н. Андрийчук // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – Луганськ. – 2005, № 49 (82). – С. 106–110.
11. Арсирий В. А. Неравнозначность влияния сопротивлений на параметры аэродинамической системы в зонах избыточного давления и разрежения / В. А. Арсирий, В. П. Ярошевский // Праці Одеського політехнічного університету. Енергетика. Теплотехніка. Електротехніка. Вип. 1(35), Одесская государственная академия строительства и архитектуры. 2011, – С. 74–77.

12. Беккер А. Библиотека климатехники. Системы вентиляции / А. Беккер – М. : Техносфера, Евроклимат, 2005. – 232 с.
13. Богуславский Л. Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : справ. пособие / Л. Д. Богуславский, В. И. Ливчак, В. П. Титов. – М. : Стройиздат, 1990. – 624 с.
14. Бродский В. З. Введение в факторное планирование эксперимента / Бродский В. З. – М. : Наука, 1976. – 274 с.
15. Бутаков С. Е. Воздухопроводы и вентиляторы. Аэродинамика вентиляторных установок / С. Е. Бутаков. – М. : Машгиз, 1958.
16. Вахвахов Г. Г. Энергосбережение и надежность вентиляторных установок / Г. Г. Вахвахов – М. : Стройиздат, 1989. – 176 с.
17. Вахвахов Г. Г. Работа вентиляторов в сети / Г. Г. Вахвахов – М. : Стройиздат, 1975. – 101 с.
18. Ведомственные нормы технологического проектирования свеклосахарных заводов: ВНТП 03 – 91. – М. : Гипросахпром, 1991. – 357 с.
19. Ведомственные нормы технологического проектирования заводов и пунктов послеуборочной обработки и хранения продовольственного, фуражного зерна и семян зерновых, зернобобовых, масличных культур и трав: ВНТП 16-88. – М. : Госагропром СССР, 1988. – 45 с.
20. Вентилювання приміщень : навч. Посіб. / [С. С. Жуковський, О. Т. Возняк, О. М. Довбуш, З. С. Люльчак]. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2007. – 476 с. (ISBN 978-966-553-645-1).
21. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний : ГОСТ 10921–90. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 35 с.
22. Вентиляторы радиальные и осевые. Размеры и параметры : ГОСТ 10616-90. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 14 с.
23. Виноградов Б. С. Прикладная газовая динамика / Б. С. Виноградов. – М. : Университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, 1965. – 348 с.
24. Внутренние санитарно-технические системы : СНиП 3.05.01-85. – М. : Минстрой России, 1985. – 30 с.
25. Возняк О. Т. Особливості зворотного потоку при подачі повітря плоскими настільними струминами / О. Т. Возняк // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. Вип. 8. – К. : КНУБА, 2005. – С. 3–11.
26. Возняк О. Т. Основи наукових досліджень / О. Т. Возняк, В. М. Желих, Ю. С. Юркевич. – Львів : видавництво НУ«ЛП», 2007. – 62 с.

27. Возняк О. Т. Повітророзподільник із взаємодією зустрічних не співвісних плоских струмин в приміщеннях ювелірного заводу / О. Т. Возняк, Х. В. Миронюк, І. Є. Сухолова // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. Вип. 12. – К. : КНУБА, 2008.– С. 3–10.

28. Гулай Б. І. Підвищення ефективності вентиляційних систем вирівнюванням нагнітального потоку радіального вентилятора : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 : захищена 24.05.12 : затв. 24.05.12 / Гулай Богдан Іванович. – Д., 2012. – 195 с. – Бібліогр. : с. 173–187. – 04200201565.

29. Гусенцова Я. А. Оптимизация технико-экономических характеристик вентиляционных систем / Я. А. Гусенцова, К. Н. Андрійчук, М. Д. Андрійчук. – Луганск : Видавництво СНУ ім. В. Даля, 2005. – 52 с.

30. Гусенцова Я. А. Системы вентиляции (технико-экономические характеристики) / Я. А. Гусенцова, К. Н. Андрійчук, М. Д. Андрійчук. – Луганск : Видавництво СНУ ім. В. Даля, 2005. – 32 с.

31. Довгалюк В. Б. Розрахункова модель неізотермічної струмини, що настилається на опуклу циліндричну поверхню / В. Б. Довгалюк, В. О. Мілейковський // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : науково-технічний збірник. Вип. 12. – К. : КНУБА, 2008. С. 11–32.

32. Донин Л. С. Справочник по вентиляции в пищевой промышленности / Л. С. Донин. – М. : Издательство «Пищевая промышленность». 1977. – 352 с.

33. Донин Л. С. Справочник по вентиляции, кондиционированию и теплоснабжению предприятий пищевой промышленности / Л. С. Донин. – М. : Издательство «Пищевая промышленность», 1968. – 286 с.

34. Дорожовець М. М. Опрацювання результатів вимірювань : навч. посіб. / М. М. Дорожовець. – Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2007. – 624 с.

35. Эрк Б. Проектирование и эксплуатация центробежных и осевых вентиляторов / Б. Эрк. – М. : ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1959. – 566 с.

36. Жуковський С. С. Аеродинаміка вентиляції : навч. Посіб. / С. С. Жуковський, В. Й. Лабай. – Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2003. – 372 с.

37. Журавлев Б. А. Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие / [Б. А. Журавлев, Г. Я. Загальский, П. А. Овчинников и др.] Под ред. Б. А. Журавлева; – М. : Стройиздат, 1980. – 448 с.

38. Загузов И. С. Математические модели в аэрогидромеханике. Часть I. Учебное пособие. Изд. / И. С. Загузов, К. А. Поляков. – Самара : Самарский университет, 2001. – 88 с.
39. Загузов И. С. Математические модели в аэрогидромеханике. Часть II. Учебное пособие. Изд./ И. С. Загузов, К. А. Поляков. – Самара : Самарский университет, 2002. – 97 с.
40. Зайцев О. Н. Влияние прецессии и нутации вихрового ядра на устойчивость закрученного потока газа / О. Н. Зайцев // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. Вип. 8. – К. : КНУБА, 2005. – С. 12–15.
41. Зайцев О. Н. Исследования динамических характеристик при взаимодействии встречно-смещенных закрученных газовых струй / О. Н. Зайцев // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. Вип. 8. – К. : КНУБА, 2005. – С. 16–19.
42. Зінич П. Л. Вентиляція громадських будівель: навч. посіб. / П. Л. Зінич. – К. : КНУБА, 2002. – 256 с.
43. Идельчик И. Е. Гидравлическим сопротивления / И. Е. Идельчик. – М. : ГосЭнергоИздат, 1954. – 314 с.
44. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – 3-е изд., перераб. и доп. / И. Е. Идельчик; Под ред. М. О. Штейнберга. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с.
45. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения. Технические условия. Межгосударственный стандарт : ГОСТ 8.563.1-97 – ГСОЕИ. – РФ : Госстандарт России, 1997. – 63 с.
46. Каталог вентиляционного оборудования Systemair. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.systemair-ukraine.com>.
47. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учеб. пособие для вузов / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоамотиздат, 1983. – 320 с.
48. Логачев И. Н. Аэродинамические основы аспирации / И. Н. Логачев, К. И. Логачев. – СПб : Химиздат, 2005. – 659 с.
49. Малкін Е. С. Особливості нерівномірного розподілу повітряного потоку в трубному пучку / Е. С. Малкін, Н. В. Чепурна, М. А. Кириченко // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. Вип. 16. – К. : КНУБА, 2012. – С. 17–19.
50. Методы аэродинамических испытаний : ГОСТ 12.3.018-79. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.

51. Мілейковський В. О. Геометричний аналіз розширення та затухання вільних плоских струмин / В. О. Мілейковський // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. Вип. 16. – К. : КНУБА, 2012. – С. 3–8.

52. Мілейковський В. О. Дослідження втрат тиску в повітророзподільниках з тангенціальними випусками повітря / В. О. Мілейковський // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збірник. Вип. 8. – К. : КНУБА, 2005. – С. 33–39.

53. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Вінниця : УНИВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.

54. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения : ГОСТ 27.002-89. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 38 с.

55. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – 114 с.

56. Нормы технологического проектирования предприятий малой мощности по производству растительных масел из семян подсолнечника и рапса методом прессования : ВНТП 20м – 93. – М. : НПО «Масложирпром», 1993. – 68 с.

57. Опалення, вентиляція та кондиціонування : ДБН В.2.5-67:2013 – К. : Мінрегіон України, 2013. – 141 с.

58. Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря. Робочі креслення: ДСТУ Б А.2.4-41:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 31 с.

59. Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х частях. Часть II. Вентиляция. / [В. Н. Богословский, В. И. Новожилов, Б. Д. Симаков, В. П. Титов]. Под редакц. В.Н. Богословского – М. : Стройиздат, 1976. – 439 с.

60. Пат. 33043 UA, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельний пристрій / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u200801268; Заявл. 01.02.2008; Опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.

61. Пат. 44940 UA, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельний пристрій / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u200903248; Заявл. 06.04.2009; Опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.

62. Пат. 52768 UA, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельний пристрій / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u201002050; Заявл. 25.02.2010; Опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.

63. Пат. 57718 UA, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельний пристрій / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u201009851; Заявл. 09.08.2010; Опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5.

64. Пат. 62410 UA, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельний пристрій / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u201101773; Заявл. 15.02.2011; Опубл. 25.08.2011, Бюл. № 16.

65. Пат. 66911 UA, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельний пристрій / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк – № u201107809; Заявл. 21.06.2011; Опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2.

66. Пат. 66912 UA, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельний пристрій / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u201107810; Заявл. 21.06.2011; Опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2.

67. Пат. 81628 UA, МПК F24F 13/02, F24F 13/08. Регулюючий відвід / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u201214504; Заявл. 18.12.2012; Опубл. 10.07.2013, Бюл. № 13.

68. Пат. 82089 UA, МПК F24F 13/02, F24F 13/08. Регулюючий пристрій прямокутного повітроводу / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u201214134; Заявл. 11.12.2012; Опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.

69. Пономарев В. Б. Аспирация и очистка промышленных выбросов и сбросов: методические указания по курсу «машины и агрегаты предприятий строительных материалов» / В. Б. Пономарев, А. Е. Замураев. – Екатеринбург : ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет–УПИ», 2007. – 44 с.

70. Правила определения стоимости строительства: ДБН Д.1.1.-1-2000. – К. : 2001. – 136 с.

71. Правила охорони праці в цукровому виробництві : НПАОП 15.83-1.05-96. – К. : 1996. – 295 с.

72. Примеры расчетов по гидравлике / [А. Д. Альштуль, В. И. Калицун, Ф. Г. Майрановский, П. П. Пальгунов]. – М. : Стройиздат, 1977. – 255 с.

73. Ратушняк Г. С. / Моделювання надійності систем теплопостачання на основі лінгвістичної інформації / Г. С. Ратушняк, О. А. Левицький, О. Г. Ратушняк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2004. – № 3. – С. 179–192.

74. Ратушняк Г. С. Вдосконалення регулювання аеродинамічних потоків трубопровідних систем / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4, серія «Технічні науки». – С. 26–33.

75. Ратушняк Г. С. Моделювання енергоефективності функціонування аеродинамічних мереж на основі лінгвістичної інформації / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2012. – Випуск 10, Т. 2(59), серія «Технічні науки». – С. 155–163.

76. Ратушняк Г. С. Модель багатофакторної оцінки енергоефективності функціонування аеродинамічних мереж / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський, С. В. Савчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012. – № 1(12). – С. 95–103.

77. Ратушняк Г. С. Планування багатофакторного експерименту для дослідження регулюючих пристроїв аеродинамічної мережі / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012. – № 2. – С. 99–106.

78. Ратушняк Г. С. Оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем за допомогою нейрон-нечітких мереж / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 1. – С. 51–56.

79. Ратушняк Г. С. Енергоощадні схеми вентиляційних систем з вдосконаленою конструкцією регулюючих пристроїв / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». – К., 2013. – Вип. 4. – С. 231–234.

80. Ратушняк Г. С. Оцінка впливу конструкцій регулювальних пристроїв аеродинамічних мереж на їхні коефіцієнти місцевих опорів / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Збірник наукових праць. – Макіївка, 2013. – № 2013-3(101). – С. 3–8.

81. Ратушняк Г. С. Снижение расхода энергии системами вентиляции путем совершенствования аэродинамических свойств фасонных частей / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковский // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – Брест, 2013. – № 2(80). – С. 82–85.

82. Ратушняк Г. С. Експериментальні дослідження робочих характеристик регулюючого пристрою з зручнообтічними виконавчими елементами в системах аспірації підприємств харчової промисловості / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2014. – Вип. 1 (84), серія «Технічні науки». – С. 162–169.

83. Ратушняк Г. С. Дослідження впливу регулюючого пристрою з зручнообтічними виконавчими елементами на втрати тиску в коліні вентиляційної мережі / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Вісник Сумського національного університету. Серія: Будівництво. – 2014. – №10(18). – С. 274–279.

84. Ратушняк Г. С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції / Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 122 с.

85. Ратушняк Г. С. Теоретичні основи технології очищення газових викидів : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк – Вінниця : ВДГУ, 2002. – 96 с.
86. Ротштейн О. П. Soft Computing в біотехнології: багатofакторний аналіз і діагностика : монографія. / О. П. Ротштейн, Є. П. Ларюшкін, Ю. І. Мітюшкін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.
87. Ротштейн А. П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. Ротштейн, С. Штовба. – Винница : Континент – ПРИМ, 1997. – 142 с.
88. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
89. Рысин С. А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов / С. А. Рысин. – М. : Издательство «Машиностроение», 1964. – 704 с.
90. Рысин С. А. Справочник по вентиляторам / С. А. Рысин. – М. : Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1951. – 248 с.
91. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : ДСН 3.3.6.042-99. – К. : Постанова КМУ № 42 від 01.12.99. – 10 с.
92. Системы VAV. Руководство. Издательство: SMAУ (издание первое). – Краков, 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ivancovs.com/wp-content/uploads/VAV.pdf>
93. Снижение аэродинамического сопротивления адсорбционных фильтров / [В. И. Соколов, А. А. Коваленко, И. Г. Дейнека и др.] // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2009. – № 2(132). – С. 371–376.
94. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
95. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем / [А. С. Юрьев, И. Г. Грачев, С. Ю. Пирогов, Н. П. Савищенко]. – СПб. : АНО НПО «Мир и семья», 2001. – 1154 с.
96. Староверов И. Г. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть II. Вентиляция и кондиционирование воздуха / И. Г. Староверов. – М. : Стройиздат, 1977. – 502 с.
97. Староверов И. Г. Монтаж вентиляционных систем / И. Г. Староверов – М. : Стройиздат, 1978. – 591 с.
98. Степанковский Р. В. Усовершенствование регулирования расходов рабочей среды аэродинамических систем / Р. В. Степанковский

// Молодой ученый. Ежемесячный журнал. – 2013. – № 1(48). – С. 18–22.

99. Соколов В. И. Аэродинамика газовых потоков в каналах сложных вентиляционных систем / В. И. Соколов. – Луганск : ВУГУ, 1999. – 200 с.

100. Талиев В. Н. Аэродинамика вентиляции: учеб. пособие для вузов / В. Н. Талиев. – М. : Стройиздат, 1979. – 295 с.

101. Шашкин А. П. Основы прикладной газодинамики. Моделирование газодинамических течений. Учебное пособие для студентов 3-4 курсов ФЛА гидрогазодинамических специальностей / А. П. Шашкин – Новосибирск, 2001. – 91 с.

102. Шевелев Ю. Д. Пространственные задачи вычислительной аэрогидродинамики / Ю. Д. Шевелев. – М. : Наука, 1986. – 368 с.

103. Щекин Р. В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга вторая. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Р. В. Щекин, С. М. Кореневский, Г. Е. Бем. – К. : Издательство «Будівельник», 1976. – 352 с.

104. Штокман Е. А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман. – М. : АСВ, 2001. – 564 с.

105. Штокман Е. А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности. – 2-е изд., перераб. и доп. / Е. А. Штокман. – М. : Агропромиздат, 1989. – 312 с.

106. Умовні графічні зображення і позначки елементів санітарно-технічних систем : ДСТУ Б А.2.4-8:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 15 с.

107. Cebeci T. Analysis of Turbulent Boundary Layers / T. Cebeci, A. M. O. Smith. – New York : Academic, 1974.

108. Launder B. E. The Numerical Computation of Turbulent Flows / B. E. Launder, D. B. Spalding // Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. – 1974. – Vol. 3. – P. 269–289.

109. Patent 7255322 B1, USA, Int. Cl. F16K 7/04. Pinch valve system with extended life / John Tiwet, Rebecca Tiwet. – № 11/408,402; Apr. 21.06; Aug. 14.07.

110. Sokolov V. Temporal characteristics of the initial stages diffusion of aerosols in a turbulent flow / V. Sokolov, S. Kuz'menko, A. Veligura // ТЕКА Ком. Mot. i Energ. Roln. – OL PAN, 2010, 10B, Lublin, Poland. P. 178–185.

111. Алямовский А. А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в современной парактике / [А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов и др.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

Наукове видання

**Ратушняк Георгій Сергійович
Степанковський Роман Володимирович**

**РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ
АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ
В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА АСПРАЦІЇ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено Р. Степанковським

Підписано до друку 16.12.2015 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 6,47.
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2015-40

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

publish.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.