

ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 697.91

В. В. Джеджула

ОСОБЛИВОСТІ НАЛАШТУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ПРОЕКТНУ ВИТРАТУ ПОВІТРЯ

Вінницький національний технічний університет

Запропоновано проводити налагодження систем вентиляції на проектну витрату, що дозволить зменшити енергоспоживання систем, привести їх у відповідність до проекту, отримати нормовані показники мікроклімату на робочих місцях, досягнути значної економії коштів за рахунок енергозбереження, як у існуючих і давно функціонуючих системах, так і в нових, але недостатньо якісно налагоджених. Однією з головних задач при налагодженні систем є максимальне використання потенціалу встановленого обладнання і мережі без його заміни чи модернізації.

Розглянуто основні проблеми, що виникають за налаштування вентиляційних систем на проектну витрату повітря. Запропоновано основні шляхи їх вирішення. Розглянуто підходи до отримання проектної витрати вентилятора.

Ключові слова: вентиляція, балансування, мережі, енергозбереження.

Вступ

Постановка проблеми Завершення робіт з монтажу систем вентиляції повинно супроводжуватись комплексом пускових і випробувальних робіт та налагодженням мережі на проектну витрату повітря. Неналагоджена система може споживати більше енергоресурсів, створювати більше шуму, не забезпечувати нормовані параметри внутрішнього повітря. Процес налагодження є складним і довготривалим, він потребує від виконавців значного обсягу теоретичних і практичних знань і навичок, правильного використання необхідних приладів для вимірювання.

Аналіз останніх публікацій. Питанням, пов'язаним із налагодженням вентиляційних систем, присвячено незначну кількість робіт, зокрема [1-4]. Разом з тим, зі зростанням нормативних вимог до систем вентиляції та енергозбереження, потребують детального розгляду питання налагодження вентиляційних систем на проектну витрату повітря як напрямку енергозбереження. Впровадження інноваційних підходів у налагодженні вентиляційних систем дозволить досягнути зменшення енергоспоживання систем створення мікроклімату та збільшити рентабельність підприємств за рахунок енергозбереження [5-7].

Метою статті є обґрунтування шляхів вирішення основних проблем, що виникають за налагодження вентиляційних систем на проектні витрати повітря. Для вирішення даної мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Розглянути основні випадки співвідношення характеристик мережа-вентилятор;
2. Виявити основні проблеми, що виникають за налагодження вентиляційних систем;
3. Сформулювати сукупність рекомендацій вирішення проблем, що виникають під час налагодження систем;
4. Визначити економію енергетичних ресурсів за використання підходу відновлення статичного тиску в вентиляторі.

Результати дослідження

Налагодження вентиляційних систем на проектну витрату супроводжується низкою проблем, вирішення яких дозволить експлуатувати системи в проектному режимі, тобто в режимі максимальної ефективності та найнижчого енергоспоживання. Але досягнення проектного режиму не завжди є режимом найефективнішої роботи обладнання та системи в цілому. Першою проблемою, яка може виникнути під час налагодження систем – це помилки в самому проекті, які пов'язані з низкою причин, у тому числі і з недостатньою компетенцією проектувальника або бажанням замовника зменшити вартість системи. Цю проблему можна вирішити тільки шляхом внесення відповідних змін у проект. Разом з тим, така система, за бажання замовника, може бути

допущена до експлуатації, якщо її робота не буде порушувати вимоги нормативних документів, зокрема ДБН В.2.5-67 [4].

Інша група проблем може виникнути за неправильного підбору обладнання і конфігурації системи. У даному випадку можна спостерігати три основних варіанти розвитку, які графічно можна зобразити на суміщеній P-L діаграмі мережі і вентилятора:

- 1) вентилятор відповідає системі, але система змонтована не за проектом;
- 2) система змонтована за проектом, але вентилятор не відповідає системі;
- 3) не вірно змонтована система і не вірно підібраний вентилятор.

На рис. 1. зображено графічні характеристики вентилятора і мережі за різних варіантів невідповідності мережі: криві 1 і 2 – це характеристики вентилятора відповідно за умов роботи на повних обертах і за регулювання в напрямку зменшення характеристик. Криві мережі представлені за трьох випадків: крива 2 – проектна характеристика мережі з робочою точкою 1; крива 3 – фактична характеристика мережі за збільшеного опору мережі (робоча точка 2); крива 4 – характеристика мережі за заниженого опору мережі відносно проектного (робоча точка 3).

За невідповідності вентилятора системі може бути всього два основних варіанти: вентилятор має недостатню продуктивність і вентилятор має завищену продуктивність. Якщо ж вентилятор має завищену продуктивність, то класичним шляхом зниження надлишкового тиску до проектного значення є дроселювання, що призведе до завищеної витрати енергії і шумоутворення.

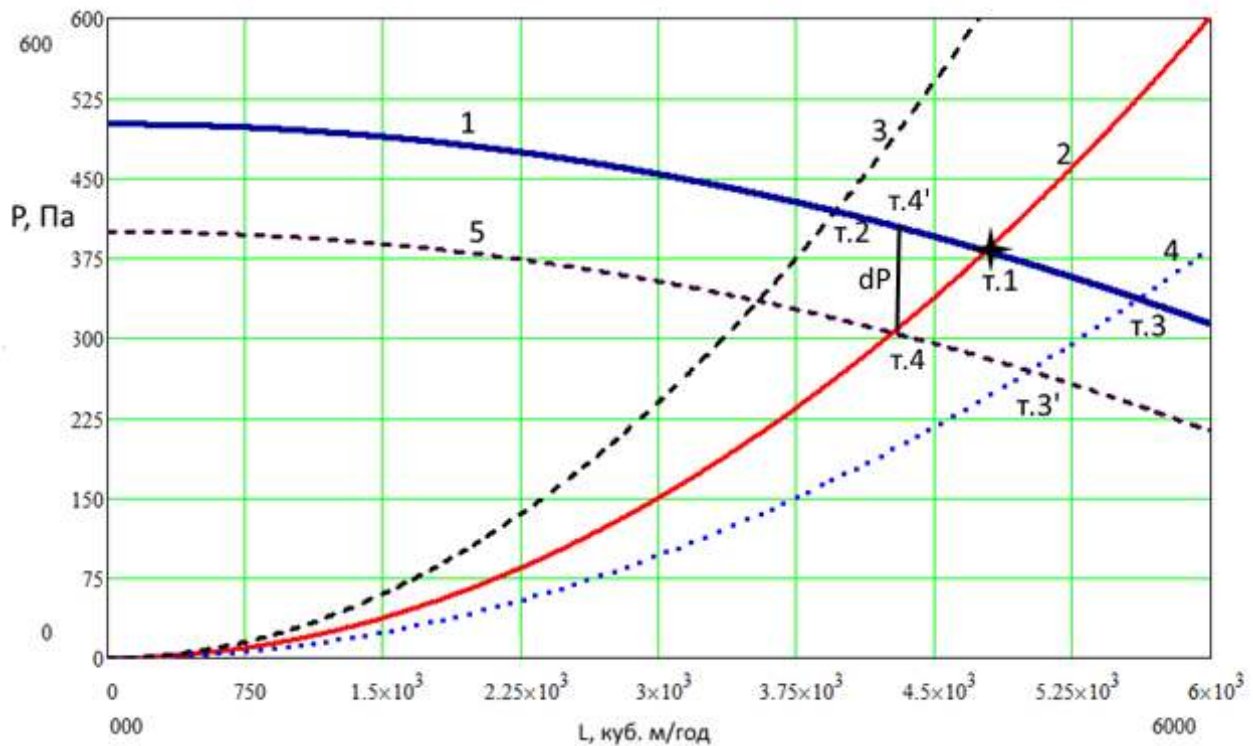


Рисунок 1 – Графічна ілюстрація характерних випадків співвідношення характеристик вентилятора і мережі

Більш сучасні підходи приведення у відповідність характеристик завищеного вентилятора і мережі – це зменшення частоти обертання робочого колеса. Відповідно до законів подібності [1-3] за зменшення частоти обертання продуктивність зменшується пропорційно відношенню частот, тиск змінюється як відношення частот у квадраті, а споживана потужність – як відношення частот у кубі:

Метод частотного регулювання дозволяє значно зменшувати споживання енергії вентиляторами, але разом із тиском зменшується і продуктивність вентилятора. Тому даний метод ефективний у випадках, коли робоча точка не знаходиться в крайньому правому сегменті характеристики вентилятора. За частотного регулювання, або зменшення вхідної напруги живлення, характеристика вентилятора переходить у положення, яке графічно ілюструється кривою 5 (для даного випадку). Тоді робоча точка 3 змонтованої системи з заниженим опором відносно проектного переходить у точку 3' (рис.1).

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{L_2}{L_1}, \quad (1)$$

$$\frac{n_2^2}{n_1^2} = \frac{P_2}{P_1}, \quad (2)$$

$$\frac{n_2^3}{n_1^3} = \frac{N_2}{N_1}, \quad (3)$$

де n_1, n_2 – частота обертання робочого колеса вентилятора до та після регулювання, об/хв; N_1, N_2 – потужність, яку споживає вентилятор до та після регулювання, кВт; L_1, L_2 – продуктивність вентилятора до та після регулювання, м³/год; P_1, P_2 – повний тиск, що створює вентилятор до та після регулювання, Па.

Якщо проектна точка мережі 4 знаходиться нижче характеристики вентилятора 1, то це свідчить про невідповідність вентилятора мережі, і без дроселювання або зменшення числа обертів вентилятора робочою точкою такої системи буде точка 1. За дроселювання точка 4 переходить у точку 4'. Для дроселювання (в обох випадках невідповідності) потрібно використовувати регулятори постійної або змінної витрати, дросельні діафрагми, дросельні клапани, у виняткових випадках шибери. Одними з найбільш зручних у використанні для дроселювання є регулятори витрати з конструктивною можливістю вимірювання перепаду тиску на них (рис. 2).

Витрата повітря у такого типу клапанів визначається за формулою [8]:

$$L = k \times \sqrt{P} \quad (4)$$

де L – витрата повітря через клапан л/с; k – k -фактор клапану; P – перепад тиску на клапані (вимірний під час налагодження системи), Па.

У випадку невідповідності і системи і вентилятора система підлягає мінімально необхідній модернізації, а обладнання – заміні. Система, що працює не в проектному діапазоні не лише енерговитратна, але й небезпечна виходом обладнання з ладу [1-3, 5-7]. Так, вентилятор, що працює з завищеною продуктивністю (у системі з недостатнім аеродинамічним опором) споживає більше енергії, перегрівається, і в окремих випадках може спрацювати тепловий захист двигуна, що унеможливить роботу системи взагалі. Занижена витрата небезпечна недосягненням нормованих показників мікроклімату на робочих місцях чи в зоні обслуговування, що є неприпустимим.

Недостатню продуктивність вентилятора виправити практично не можливо, внесення конструктивних змін у мережу не завжди дозволяє значно зменшити втрати тиску, тому у даному випадку вентилятор найчастіше підлягає заміні. В окремих випадках можна ввести конструктивні зміни в систему зменшуючи її аеродинамічний опір шляхом збільшення окремих ділянок повітроводів або залучивши частину повного тиску вентилятора, що втрачається при викиді повітря на роботу в мережі. Останній випадок характерний для витяжних систем обладнаних вентиляторами середнього і високого тиску, що розміщені в кінці мережі. Динамічний тиск викидного повітря може бути «повернуто» на роботу в мережу шляхом встановлення правильно підібраних дифузorzів, у яких втрата тиску менше за динамічний тиск викидного повітря. Для відцентрових вентиляторів найбільш оптимальним є пірамідальний ступеневий дифузор з кутом розкриття 8-9° [1,2].

Розглянемо випадок використання підходу відновлення статичного тиску вентилятора ВР 287-46 №6,3 (середнього тиску), що працює у витяжній мережі з параметрами $P=1720$ Па, $L=20000$ м³/год, $\eta=0,73$, встановлена потужність двигуна $N=18,5$ кВт. Геометричні розміри випускного отвору $F_1 = b_0 \times b_0 = 475 \times 475$ мм. Динамічний тиск повітря на виході з вентилятора складає $P_d = 363$ Па, тобто складає 21% від повного тиску вентилятора. З метою зменшення динамічного тиску на вході з вентилятора необхідно встановити дифузор. Статичний тиск вентилятора $P_c = 1357$ Па. Відповідно до рекомендацій [1] для малих кутів розкриття (8-9°) потрібно використовувати ступеневі дифузори (рис. 3) - дифузори, які складаються зі звичайного дифузора з оптимальним кутом розкриття і раптовим розширенням потоку для зменшення втрат тиску.

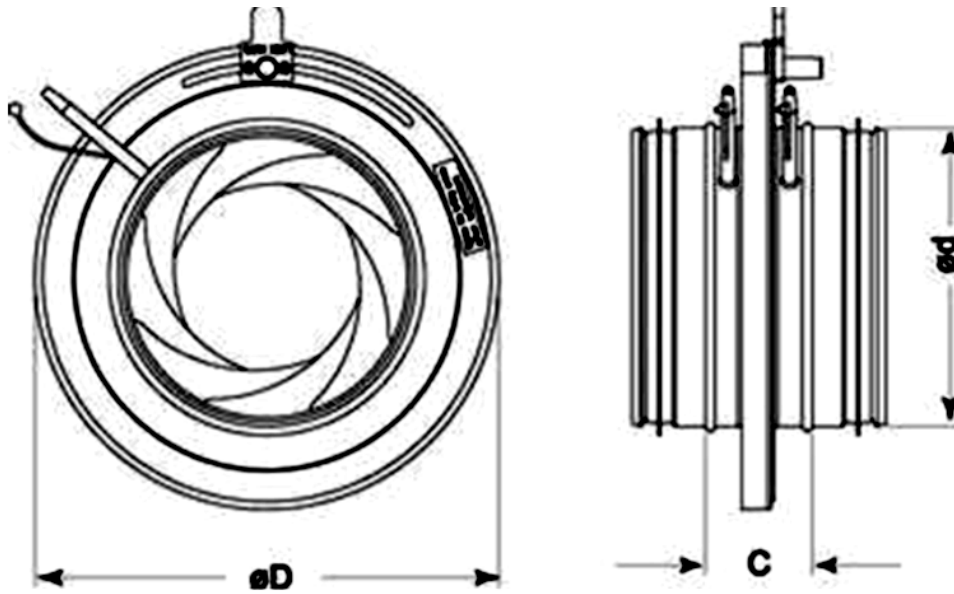


Рисунок 2 – Загальний вигляд регулятора витрати (ірисового клапана) SPI Systemair [8]

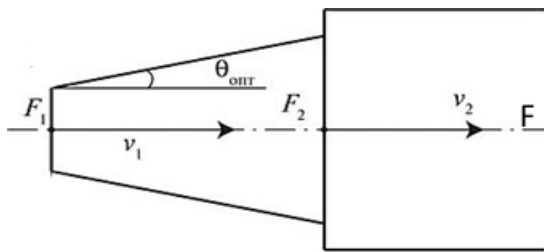


Рисунок 3 – Геометричні параметри ступеневого дифузора розташованого на виході з вентилятора

Приймаючи кут розкриття дифузора $\theta_{\text{онт}}=9^\circ$ визначимо згідно методики [1] інші геометричні параметри дифузора. Довжина дифузора приймається $l_d=1,5b_0=1,5 \times 475=712,5$ мм. Тоді площа вихідної частини дифузора:

$$F_2 = b_1 \times c_1 = (2 \times l_d \times \tan(\theta_{\text{онт}}) + b_0)^2 \quad (5)$$

Тобто $b_1 = c_1 = 700,7$ мм і $F_2=0,49$ м².

Площу розширеної частини дифузора визначимо з рівняння нерозривності потоку, приймаючи швидкість в ній не вище 7 м/с, для даного випадку – 5 м/с:

$$F = b_2 \times c_2 = \frac{F_1 \times v_1}{v_2} = \frac{0,2256 \times 24,6}{5} = 1,11 \text{ м}^2 \quad (6)$$

Довжина розширеної частини дифузора визначиться

$$l_1 = 3b_2 = 3 \times 1,053 = 3,16 \text{ м} \quad (7)$$

Відповідно до [1] коефіцієнт внутрішніх втрат дифузора складе $\zeta=0,41$. Коефіцієнт повних втрат:

$$\xi_n = \zeta + \frac{1}{(F/F_0)} = 0,41 + \frac{1}{4,92^2} = 0,45 \quad (8)$$

Коефіцієнт відновлення динамічного тиску

$$\zeta_v = 1 - \xi_n = 1 - 0,45 = 0,55 \quad (9)$$

Відновлений статичний тиск вентилятора складе:

$$P_{cv} = P_c + \zeta_v \times P_d = 1357 + 0,55 \times 363 = 1557 \text{ Па} \quad (10)$$

Таким чином, за рахунок використання дифузора на випускній частині вентилятора вдалося збільшити статичний тиск вентилятора на 200 Па, тобто збільшити корисну роботу, яку виконує вентилятор і збільшити його ККД. Величина втрат електричної енергії зменшиться на 1,52 кВт споживаної потужності, що за цілодобової роботи вентилятора складе 36,53 кВт×год на добу. Окрім енергозберігаючого ефекту досягнуто і збільшення продуктивності, тобто забезпечення необхідної витрати повітря без заміни вентилятора.

Висновки

- Налагодження систем вентиляції на проектну витрату дозволяє зменшити енергоспоживання систем, привести їх у відповідність до проекту, отримати нормовані показники мікроклімату на робочих місцях, досягнути значної економії коштів за рахунок енергозбереження, як у існуючих і давно функціонуючих системах, так і в нових, але недостатньо якісно налагоджених. Процес налагодження складний і потребує наукового підходу. Точне визначення характеру невідповідності є лише перший крок у виправленні ситуації. Однією з головних задач при налагодженні систем є максимальне використання потенціалу встановленого обладнання і мережі без його заміни чи модернізації. Для цього потрібно щоби мережа була аеродинамічно гнучкою - тобто обладнана регулювальними пристроями і автоматикою для налагодження, а фахівець, який проводить випробування окрім необхідних приладів мав ще і достатній обсяг знань і практичних навичок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вентиляционное оборудование. Технические рекомендации для проектировщиков и монтажников / В. Г. Караджи, Ю. Г. Московко. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2010. – 432 с.
2. Вахвахов Г. Г. Работа вентиляторов в сети / Г. Г. Вахвахов. – М.: Стройиздат, 1975. – 101 с.
3. Справочник по наладке, регулировке и эксплуатации систем промышленной вентиляции / под ред. С. Я. Эрлихмана. – М.: Госстройиздат, 1962. – 559 с.
4. Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие./ Журавлев Б. А., Загальский Г. Я., Овчинников П. А. и др. – М.: Стройиздат, 1980. – 448 с.
5. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В 2.5-67:2013. – Мінрегіон України. – К.: 2013. – 146 с.
6. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління: монографія / В. В. Дзеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 346 с.
7. Djedjula V. Investment in energy saving actions of industrial enterprises / V. Djedjula // Actual problems of economics. – 2014. – № 1 (151). – P. 163–170.
8. Спіфанова І. Ю. Інновації в системі управління енергозбереженням промислових підприємств [Електронний ресурс] / Дзеджула В. В., Спіфанова І. Ю. // Економіка та суспільство. – 2017. – №9. – С. 395-398. – Режим доступу: <http://economyandsociety.in.ua>
9. Офіційний сайт компанії Systemair. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.systemair.com>.

В'ячеслав Васильович Дзеджула – доктор екон. наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет.

V. Dzhedzhula

FEATURES OF SETTING VENTILATION SYSTEMS FOR DESIGN AIR EXPENSES

Vinnitsia National Technical University

It is proposed to carry out adjustment of ventilation systems to the project cost, which will allow to reduce energy consumption of the systems, bring them in line with the project, get the normalized microclimate in the workplaces, achieve significant savings due to energy saving, both in existing and long-operating systems, and in new, but not sufficiently well-adjusted. One of the main tasks when setting up systems is to maximize the

potential of installed equipment and the network without replacing or upgrading it.

The main problems that arise when adjusting ventilation systems to the projected air flow are considered. The main ways of their solution are offered. Considered approaches to obtaining the design cost of the fan.

Keywords: ventilation, balancing, network, energy saving.

Vyacheslav Dzhedzhula – Doctor of economic sciences, professor of the Department of Engineering Systems in Construction Vinnytsia National Technical University.

В. В. Джеджула

ОСОБЕННОСТИ НАСТРОЙКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРОЕКТНЫЙ РАСХОД ВОЗДУХА

Винницкий национальный технический университет

Предложено проводить наладку систем вентиляции на проектный расход, что позволит уменьшить энергопотребление систем, привести их в соответствие с проектом, получить нормированные показатели микроклимата на рабочих местах, достичь значительной экономии средств за счет энергосбережения, как в существующих и давно функционирующих системах, так и в новых, но недостаточно качественно отлаженных. Одной из главных задач при отладке систем является максимальное использование потенциала установленного оборудования и сети без его замены или модернизации.

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при настройке вентиляционных систем на проектный расход воздуха. Предложены основные пути их решения. Рассмотрены подходы к получению проектного расхода вентилятора.

Ключевые слова: вентиляция, балансировка, сети, энергосбережение.

Вячеслав Васильевич Джеджула – доктор экон. наук, профессор кафедры инженерных систем в строительстве, Винницкий национальный технический университет.