

**Куць Н.Г., доцент кафедри автомобілів
і транспортних технологій, к.т.н.**
Луцький національний технічний університет

ЯК ЗАБЕЗПЕЧИТИ РОБОТУ ВІДКРИТОЇ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТУ

Відкриті механічні системи на транспорті відіграють ключову роль у забезпеченні пересування та ефективної роботи транспортних засобів. Розуміння їх особливостей та впливу зовнішніх факторів є критичним для підвищення їх надійності, безпеки та енергоефективності. Нині в енергетиці виникла практично революційна ситуація, коли розпочалися інтенсивні пошуки нових способів отримання та перетворення енергії [1].

Вентилятор — це відкрита механічна система, яка виконує функцію переміщення повітря або інших газів за допомогою обертальних лопатей. Принцип роботи вентилятора як відкритої механічної системи полягає в обертанні лопатей вентилятора, які створюють рух повітря за рахунок різниці тиску між передньою та задньою частинами лопатей. Відкрита механічна система вентилятора взаємодіє із зовнішнім середовищем, забираючи повітря з навколишнього простору і передаючи його до відповідних систем. Потік повітря, що проходить через вентилятор, може змінюватися залежно від умов навколишнього середовища, наприклад, температури, вологості, і навіть наявності перешкод.

У процесі взаємодії лопаток вентилятора з навколишнім середовищем виникає ударний момент окремих молекул повітря, відцентрові сили, гідродинамічні сили, що зумовлені законом Бернуллі. Ці сили взаємодіють, створюючи потік повітря, який визначає ефективність роботи вентилятора.

При ударному моменті молекул повітря лопаті вентилятора захоплюють ці молекули повітря, передаючи їм кінетичну енергію. Це сприяє збільшенню швидкості повітря, що проходить через вентилятор. Чим більше молекул повітря залучено, тим більший потік створюється. Коли лопаті вентилятора обертаються, вони створюють відцентрові сили, які відштовхують повітря в бік від центру обертання. Це впливає на напрямок і швидкість повітряного потоку, розподіляючи його рівномірно. Закон Бернуллі стверджує, що зі збільшенням швидкості потоку рідини (в даному випадку – повітря) тиск зменшується. Це означає, що в зоні, де лопаті рухаються швидше, тиск буде нижчим, ніж у зоні, де повітря рухається повільніше. Це створює додаткові гідродинамічні сили, які сприяють переміщенню повітря через вентилятор.

Таким чином, об'єднання цих сил забезпечує постійний рух повітря, що робить вентилятор ефективним засобом для вентиляції, охолодження або обігріву. Керуючи швидкістю обертання лопатей і їх формою, можна оптимізувати роботу вентилятора під різні умови експлуатації.

Ця взаємодія також визначає шум, який виробляється вентилятором, оскільки швидкість і форма лопатей можуть впливати на турбулентність повітря, що викликає звукові коливання. Встановлено, що потужність, яку споживає вентилятор, залежить від частоти обертання не в кубічному ступені, а в ступені $3/2$ з переходом у лінійний зв'язок. і зі зростанням швидкості обертання зменшується та переходить у лінійну залежність. Це результат впливу багатьох сил на лопаті вентилятора, які виникають унаслідок взаємодії їх із навколишньою атмосферою.

Важливо визначити під яким кутом слід розташовувати лопатки вентилятора, щоб забезпечити охолодження повітря всією взаємодіючою площиною лопатки та коли таке охолодження створюватиме максимальне збільшення моменту на валу обертання вентилятора. Для цього визначимо умови розташування лопаток відносно осі обертання вентилятора шляхом розрахунку моментів сил, що виникають унаслідок взаємодії з лопаткою вентилятора. Так під час удару молекул повітря об опуклу поверхню лопатки виникає гальмівний момент. Тангенціальний рух повітря, що виникає при цьому, визначає виникнення відцентрових прискорень і дію закону Бернуллі, моменти сил яких протилежні ударному механізму.

Коли лопатки вентилятора рухаються своїм увігнутих боком, то вони ніби захоплюють потік (рисунок 1) [1].

Впливаючи на кожну молекулу повітря, відбувається збільшення її швидкості, і тим самим відбувається зростання ентальпії потоку повітря, що відкидається лопаткою. Повітря по опуклій стороні лопатки може здійснювати одночасно як рух у ламінарному режимі, так і шляхом утворення зривної течії. Під час ламінарного обтікання ентальпія потоку повітря не змінюється, а під час зривної течії виникає зона розрідження. Ця зона заповнюється повітрям навколишньої атмосфери зі швидкістю звуку.

Удари молекул повітря об опуклий бік лопатки віддають частину своєї кінетичної енергії самій лопатці, і водночас відбувається зменшення ентальпії потоку повітря, що на нього впливає. Повітря

охладжується, а його потік призводить до формування відцентрового, внаслідок закону Бернуллі, відтоку повітря від опуклої поверхні протилежно до обертання вентилятора. На це витрачається робота за рахунок додаткового споживання енергії від джерела. За вентилятором потік повітря від вигнутої і опуклої поверхонь лопаті змішуються і практично ентальпія результуючого потоку повітря істотно не змінюється.

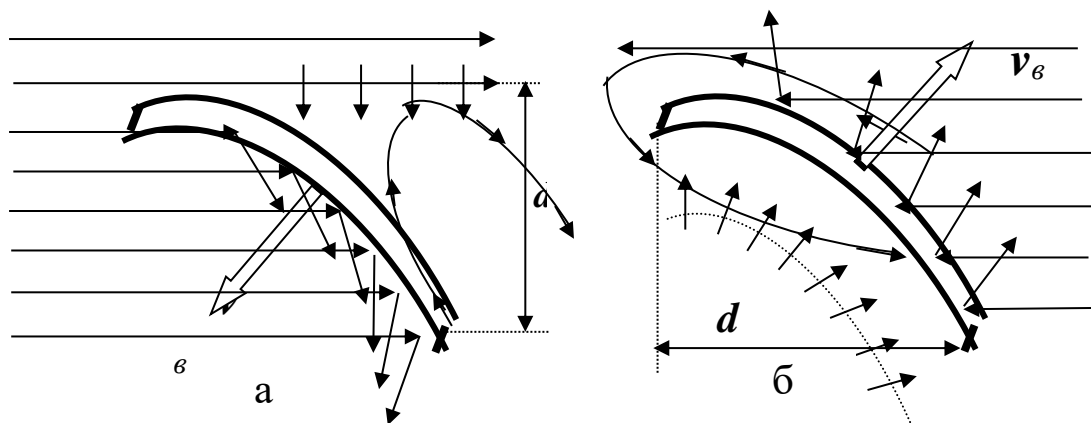


Рисунок 1. Схема обгортання лопатки вентилятора при його обертанні:
а) в напрямку вигнутої сторони б) в напрямку опуклої сторони

де v_v - лінійна швидкість елемента лопатки на відстані r від осі обертання;

d - довжина кривизни елемента дуги, що розглядається, яка біля основи лопатки.

Залежність потужності, споживаної вентилятором, за частоти обертання 75 Гц залежить від кута встановлення лопатей. Зменшення потужності зумовлене тим, що під час зростання кута встановлення лопатей відносно осі обертання відбувається зменшення площі взаємодії з навколишньою атмосферою. У разі встановлення лопатей понад 40° вентилятор генерує потік, протилежний обертанню, і припиняє створювати потік повітря в напрямку обертання.

У разі обертання вентилятора в напрямку опуклої поверхні тільки одна сила перешкоджає руху, а всі інші сили, що виникають унаслідок обертання вентилятора, спрямовані в напрямку обертання. Тому енергоспоживання за заданої швидкості обертання різко зменшується і, особливо, при зростанні швидкості обертання вентилятора.

Охолоджений потік є джерелом відсмоктування теплової енергії з довкілля і витрачається ця енергія на створення механічної роботи, яка за великих швидкостей обертання вентилятора може повністю перетворювати теплову енергію на роботу. Так працює тепловий насос. Отже, вентилятор, що працює, можна трактувати, як діючий вихровий тепловий насос.

Важливого значення набуває розробка умов створення комплексованих енергосистем. Особливо коли йдеться про використання теплових насосів спільно з іншими перетворювачами енергії. Такі системи дозволяють оптимізувати використання енергії та підвищити ефективність її перетворення, що є ключовим завданням у контексті сталого розвитку. Зокрема, інтеграція теплових насосів із сонячними панелями, вітрогенераторами та системами акумуляції енергії дозволяє забезпечити безперервне енергопостачання і знизити залежність від традиційних викопних джерел [2].

Впровадження подібних комплексних систем також сприяє зменшенню викидів парникових газів і підвищенню енергетичної безпеки. Основний виклик при їх розробці полягає у створенні гнучких моделей керування та інтеграції різних елементів системи з метою досягнення синергетичного ефекту між різними джерелами енергії. Теплові насоси відіграють ключову роль у таких системах, оскільки вони можуть ефективно використовувати низькопотенційну енергію навколишнього середовища (наприклад, геотермальну чи повітряну) для обігріву чи охолодження двигуна.

Таким чином, розробка комплексованих енергосистем відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності та екологічної сталості в умовах глобальних змін клімату. У процесі роботи теплових насосів реалізуються умови, коли складна енергосистема стає відкритою. У роботі [3] показано, що під час роботи теплового насоса навколишнє середовище є активним середовищем. З цих позицій розглянемо на прикладі роботи вентилятора, як відкритої системи, що використовується для охолодження різних нагрівальних елементів у складних енергосистемах. Тож виникає мета: з'ясувати принцип роботи вентилятора, та за яких умов він може працювати як тепловий насос.

Коли використовується багатоступенева система обертючих лопатей, то тоді це звичайний компресор. У компресорах потоком повітря керують сопловими апаратами. Такі системи вимагають свого підходу і виходять за рамки розгляду вентилятора. Якщо не використовувати соплові апарати, то наступний

ступінь перешкоджає роботі попереднього ступеня. Система стає неефективною. Експериментально це відомі факти, але потребують з позицій молекулярно-кінетичної теорії детального розгляду.

Забезпечення роботи відкритої механічної системи транспорту вимагає комплексного підходу, оскільки така система пов'язана з постійною взаємодією із зовнішнім середовищем і впливом зовнішніх чинників. Для забезпечення ефективної роботи механічних систем, які використовуються на транспорті, важливо врахувати аеродинамічні характеристики. Зменшення опору повітря дозволяє знизити споживання енергії. Для роботи транспорту у відкритій механічній системі необхідно забезпечити оптимальний баланс між енергетичними потребами і джерелами енергії. Це може бути досягнуто шляхом використання відновлювальних джерел енергії (сонячні панелі, вітрові установки) для живлення систем; використання високоефективних двигунів і технологій рекуперації енергії (наприклад, гібридні або електричні двигуни).

Відкриті механічні системи транспорту піддаються значним коливанням температури через змінні умови зовнішнього середовища (високі або низькі температури, вологість тощо). Це потребує інтеграції: систем охолодження для запобігання перегріву; теплоізоляційних матеріалів для збереження енергії та мінімізації втрат тепла.

Таким чином, забезпечення роботи відкритої механічної системи транспорту вимагає комплексної інтеграції енергоефективних технологій, надійних механізмів, аеродинамічної оптимізації та екологічної свідомості для досягнення максимальних показників ефективності та безпеки.

Література

1. Гречихін Л.І., Куць Н. Сучасна енергетика. Шляхи і методи розвитку та застосування на транспорті /Наукові нотатки, 2010. Вип. 28 (травень 2010). С. 162 - 165.
2. Гречихін Л. І. Отримання і перетворення енергії у відкритих системах /Енергетика, 2004, № 4. С. 76 – 81
3. Гацукевич А. С. Робота турбін як теплового насоса // А. С. Гацукевич, Л. І. Гречихін Цивільна авіація ХХІ століття: Сб. матеріалів 1 Міжнародної молодіжної наукової конференції, 2009 р. - УВАУ ГА - 2009 - С. 9 - 10.