

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕГО СРЫВА В ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРАХ

Башков В.М., Бабаев А.А.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

В данной статье изложены причины возникновения вращающего срыва при работе осевого вентилятора. Вращающийся срыв негативно влияет на динамику осевого вентилятора и искажает его характеристики. Выполнена оценка изменения быстроходности для точек, на характеристиках осевых вентиляторов, в которых начинается срыв потока, то есть для критических по устойчивости точек. Проведен анализ изменения быстроходности в зависимости от угла установки лопатей рабочего колеса и количества лопатей. **Ключевые слова:** быстроходность, вентилятор, вращающийся срыв, втулка, впадина, давление, гистерезис, отрыв, пограничный слой.

Постановка проблемы. Пограничный слой на вращающихся поверхностях лопаток осевых вентиляторов держится на вращающихся поверхностях лопаток более или менее устойчиво, но он подвержен действию центробежных сил. Так появляется движение в радиальном направлении в пограничном слое наряду с движением в осевом направлении.

Оторвавшиеся частицы отбрасываются к периферии рабочего колеса. Возникает нечто вроде отсоса пограничного слоя, что способствует ослаблению срывных явлений. Гутше сделал это движение видимым при вращении пропеллера в воде. Пропеллер покрывался раскрашенным масляным препаратом, который стекал в направлении течения в пограничном слое [1].

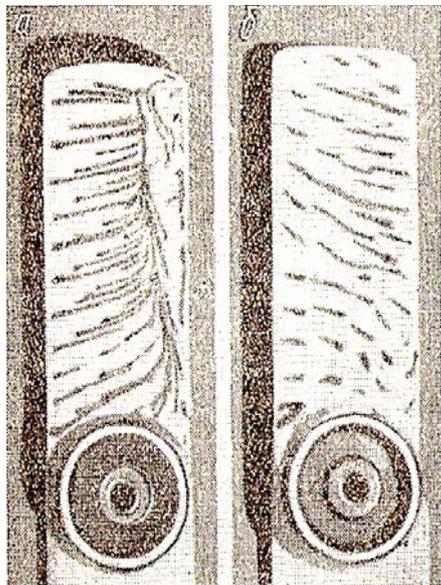


Рис. 1. Линии тока в пограничном слое лопатей пропеллера (по данным Гутше): а – со стороны разрежения, б – со стороны давления

Анализ последних исследований и публикаций. На рисунке 1 показан пропеллер. На стороне всасывания видно распространение срыва вдоль лопасти от втулки. Более подробные исследования были проведены Хамельскампом. Им впервые были проведены измерения на вращающемся пропеллере. Результаты оказались неожиданными. Было установлено, что в сечениях,

близких к втулке, величина $с_a$ выше трех. Это соответствует повышению почти в три раза максимальной величины коэффициента подъемной силы по сравнению с таким же профилем в плоскопараллельном потоке.

Одновременно наблюдается значительное повышение сопротивления. Соответствующие результаты показаны на рисунок 2.

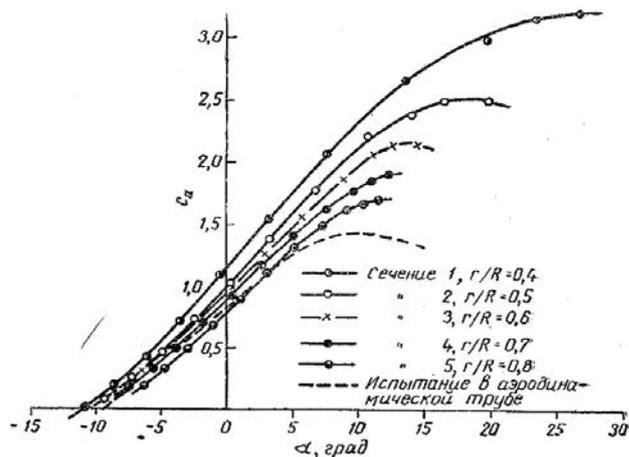


Рис. 2. Коэффициенты $с_a$ для различных радиусов, измеренные на вращающейся лопасти (по данным Хамельскампа)

Материалы и результаты исследований. Процесс распространения отрыва потока в лопаточном венце происходит следующим образом. Отрыв начинается на одной из лопаток вблизи втулки. Вследствие отрыва потока гидравлическое сопротивление межлопаточного канала увеличивается и поток перед лопаточным венцом отклоняется к смежным межлопаточным каналам. При этом к лопатке, расположенной с вогнутой стороны рассматриваемой лопатки, поток приходит с уменьшенным углом атаки; в то же время к лопатке, расположенной с выпуклой стороны данной лопатки, поток приходит с увеличенным углом атаки. Таким образом, происходит перемещение отрыва вдоль фронта решетки от вогнутой к выпуклой стороне лопатки. В абсолютном движении отрыв перемещается с угловой скоростью, меньшей угловой скорости рабочего колеса; Описанное явление носит название вращающегося срыва.

Из этих наблюдений следует, что нужно весьма осторожно относиться к применяемым для осевых вентиляторов опытным величинам, полученным по данным измерений в плоскопараллельном потоке. Это – большая проблема для точного математического расчета решеток [1].

При этом срывная зона занимает лишь концы лопаток, в то время как около втулки сохраняется нормальный режим обтекания. Срыв удерживается не по всей окружности колеса, а лишь в некоторых её секторах (одном, двух или нескольких) [2].

Появление подобных замкнутых течений и то, что активный поток в колесе взаимодействует со срывными зонами примерно так, как если бы эти зоны заняты твердыми телами, что приводит к значительным дополнительным потерям давления [3].

В результате при образовании срывных зон развиваемое вентилятором давление падает, а на напорной характеристике получается обратный уклон или разрыв. Глубина получающейся впадины, крутизна или её разрывность, гистерезис характеристики – всё это зависит от того, насколько устойчивы срывные зоны в данных условиях, определяемых конструкцией машины и профилированием её лопаток [2].

К тому же, во многих ответах возникновение вращающегося срыва соответствовало точке максимального коэффициента статического давления на характеристике вентилятора [4].

Автором были исследованы срывные зоны более 25-ти вентиляторов ЦАГИ, выполненным по аэродинамическим схемам К, К+СА, НА+К+СА.

Были рассмотрены зависимости безразмерного коэффициента давления Ψ в начале и конце срывной зоны от безразмерного коэффициента производительности (расхода) – ϕ .

Они подтвердили возникновение гистерезиса в рассматриваемых напорных характеристиках вентиляторов.

Причем наиболее выраженный характер гистерезисной кривой имеет зависимость изменения конечного давления от конечной производительности в зоне срыва.

Всё это говорит о неоднозначности процессов, происходящих в срывной зоне, и подчеркивает необходимость продолжения исследований, особенно для сложных сетей вентиляционного охлаждения транспортных машин.

Цель статьи. Целью статьи является попытка связать причины возникновения вращающегося срыва с рабочими параметрами вентилятора.

Выводы. Были рассмотрены зависимости коэффициента давления ψ в начале и в конце срывной

зоны в зависимости от начального и конечного значения коэффициента производительности – ϕ [4]. Результаты подтвердили возникновение гистерезиса в рассматриваемых аэродинамических характеристиках вентиляторов.

Одним из понятий, которым пользуются, в аэродинамике вентиляторов является быстроходность, которая определяется по формуле

$$n_y = 138 \frac{\phi^{1/2}}{\psi^{3/4}} \quad (1)$$

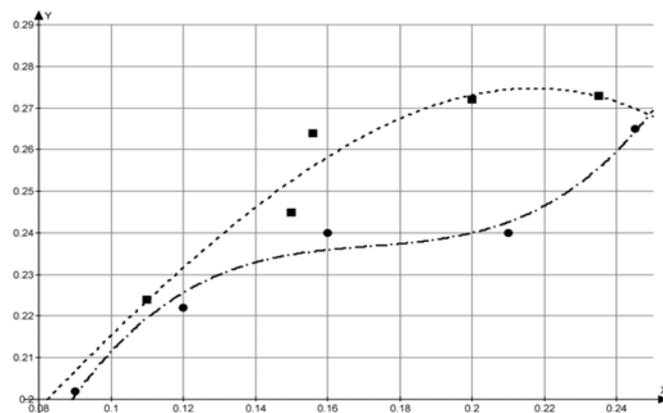
Быстроходность характеризует тип вентилятора и его эксплуатационные и конструкционные особенности [3].

Была произведена оценка изменения быстроходности для точек, на характеристиках осевых вентиляторов, в которых начинается срыв потока, то есть для критических по устойчивости точек. Дана оценка изменения быстроходности в зависимости от угла установки лопастей рабочего колеса θ_k и количества лопастей этого же колеса Z .

Оценка производилась для 30 вентиляторов ЦАГИ, выполненных по трем основным К, К+СА, НА+К+СА.

Результаты исследований представлены на рисунке 4.

Изменение параметров вентилятора в зоне вращающегося срыва (давление)



- ● ● ● Экспериментальные данные зависимости давления от начального значения производительности
- ■ ■ ■ Экспериментальные данные зависимости давления от конечного значения производительности
- $\Psi(x) = -12.2461992 \cdot x^3 + 2.1933682 \cdot x^2 + 0.7772007 \cdot x + 0.1278984$
- - - - $\Psi(x) = 56.4947651 \cdot x^3 - 29.0608115 \cdot x^2 + 5.0500015 \cdot x - 0.0595393$

Рис. 3. Изменение параметров вентилятора в зоне вращающегося срыва (давление)

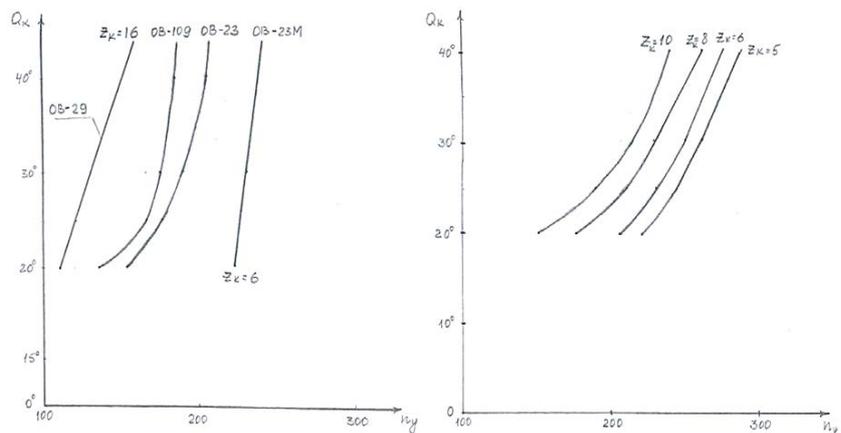


Рис. 4. Схема К+КС

Представленные на рис. 4 кривые показывают:
1) значение n_y возрастает с увеличением угла установки рабочего колеса;

2) зависимость n_y от числа лопастей представлена в виде параллельных кривых, причем увеличение числа лопастей (густоты решетки) смещает кривые в зону меньших значений n_y ,

характеризующих более сложную аэродинамическую схему вентилятора и наоборот.

Таким образом можно сделать вывод, что точки срыва для вентиляторов с меньшим числом лопастей и большим значением n_y соответствуют более простым и менее нагруженным решеткам вентиляторов.

Список литературы:

1. Эжк Б. Проектирование и эксплуатация центробежных и осевых вентиляторов / Эжк Б. // – М.-Л.: Госгортехиздат, 1969.
2. Дзидзигури А. А., Матикашвили Т. И. Неустойчивая работа вентиляторов и способы её предупреждения / Дзидзигури А. А., Матикашвили Т. И. // – М.: Наука, 1965. – 94 с.
3. Ушаков К. А., Брусиловский И. В., Бушель А. Р. Аэродинамика осевых вентиляторов и элементы их конструкций / К. А. Ушаков, И. В. Брусиловский, А. Р. Бушель // – М.: Госгортехиздат, 1960. – 422 с., с ил.
4. Брусиловский И. В. Аэродинамика осевых вентиляторов / И. В. Брусиловский // – М.: Машиностроение. 1984. – 240 с., с ил.

Башков В.М., Бабасв О.А.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ПРИЧИНЫ ВНИКНЕНИЯ ОБЕРТОВОГО ЗРИВУ В ОСЬОВИХ ВЕНТИЛЯТОРАХ

Анотація

У даній статті викладені причини виникнення обертаючого зриву при роботі осьового вентилятора. Обертаний зрив негативно впливає на динаміку осьового вентилятора і спотворює його характеристики. Виконана оцінка зміни швидкохідності для точок, на характеристиках осьових вентиляторів, в яких починається зрив потоку, тобто для критичних по стійкості точок. Проведено аналіз зміни швидкохідності залежно від кута установки лопатей робочого колеса та кількості лопатей.

Ключові слова: швидкохідність, вентилятор, обертаний зрив, втулка, западина, тиск, гістерезис, відрив, прикордонний шар.

Bashkov V.M., Babaev A.A.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

CAUSES OF ROTATING DISRUPTION IN AXIAL FAN

Summary

This article describes the causes of the breakdown torque at the axial fan. Rotating stall a negative impact on the dynamics of an axial fan and distorts its characteristics. The estimation of changes in rapidity for the points on the characteristics of axial fans, which begins stall, that is critical for the stability of the points. The analysis of the specific speed change depending on the angle setting shovel impeller and the number of shovels.

Keywords: rapidity, the fan rotating stall sleeve, depression, pressure, gisteresis, separation, boundary layer.