

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ВРАЩАЮЩЕГО СРЫВА. УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ

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. Рассмотрены средства борьбы с вращающимся срывом, возникающим у осевых вентиляторов. Проведен анализ изменения быстроходности в зависимости от угла установки лопатей рабочего колеса и количества лопатей.

**Ключевые слова:** осевой вентилятор, вращающийся срыв, противосрывное устройство.

**Постановка проблемы.** Возникновение вращающегося срыва приводит к искажению характеристик осевых вентиляторов (ОВ). На них возникает разрыв, в результате чего вся характеристика делится на левую нерабочую, и правую рабочую. С чем же связано возникновение подобных режимов?

В зависимости от схемы вентиляторов, угла установки лопаток их рабочих колес, относительного диаметра втулки, характеристики их, т.е. кривые давления, мощности и к.п.д. могут иметь различную форму.

При малых углах установки лопаток (10-15°) кривые давления обычно монотонны (рис. 1, кривая а), при увеличении угла установки на них образуется впадина и появляется максимум (рис. 1, кривая б), а при еще больших углах происходит разрыв давления (рис. 1, кривая в).

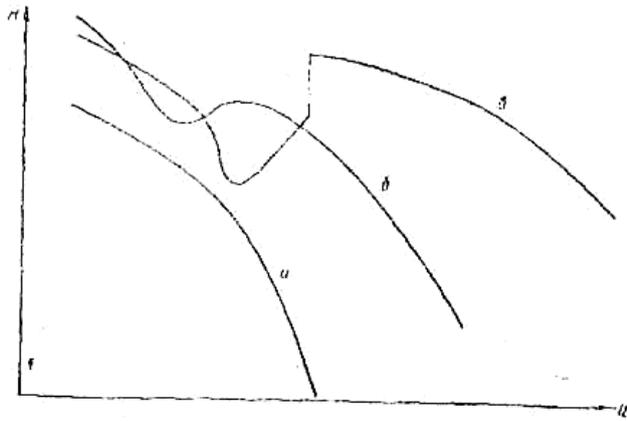


Рис. 1. Различные виды кривых давления

Если на характеристике имеется глубокая впадина или разрыв, работа при соответствующих производительностях становится неустойчивой и приводит к сильным колебаниям давления и производительности, которые в некоторых случаях могут вывести машину из строя.

При использовании вентиляторов, имеющих характеристику с разрывом, наименьшая допустимая производительность обуславливается положением точки разрыва, в то время как наибольшая выбирается из условия обеспечения минимально допустимой величины к.п.д. Это обстоятельство приводит к снижению диапазона расходов, который может быть получен при данном вентиляторе.

При монотонных характеристиках давления, как наибольшая производительность, так и наименьшая определяются наименьшим допустимым к.п.д., что, как правило, дает больший диапазон расходов.

В связи со сказанным представляют большой практический интерес выяснение причин, вызывающих разрыв характеристики, и выработка мер борьбы с этим явлением. Эти задачи тем более актуальны, что большинство осевых вентиляторов эксплуатируется при больших углах установки лопаток и что нередко случаи, когда приходится прибегать к параллельной работе вентиляторов. Процессы, происходящие в вентиляторе при приближении режима его работы к точке разрыва характеристики, весьма сложны и достаточно не изучены. Однако в результате ряда отечественных и зарубежных исследований об основных чертах этих процессов уже создано некоторое представление, что позволяет отчасти объяснить происходящее и в известной степени даже влиять на форму кривой давления, делать ее монотонной или значительно уменьшать глубину впадины в ней [1].

При дальнейшем уменьшении производительности давление, развиваемое концевыми сечениями лопатки, достигнув максимума, начинает снижаться, в то время как в пространстве за колесом давление, определяемое работой остальной, большей, части лопатки, еще возрастает. В результате равновесие на периферии нарушается и устанавливается обратный ток воздуха из области нагнетания в область всасывания (рис. 2, зона I). Как показывает опыт, этот обратный ток возникает не по всей окружности, а лишь в некоторых ее секторах, которые по своему расположению не остаются связанными с определенными лопатками, а перемещаются относительно них в направлении, обратном вращению колеса. Лопатки, не охваченные в данный момент срывом, продолжают работать с углами атаки, близкими к нормальным, так как в связи с уменьшением расхода в секторах срыва расход через остальную часть ометающей площади снижается незначительно и углы атаки не достигают критических. В результате уменьшения активной площади колеса приводит к тому, что давление, создававшееся колесом ранее, до начала срыва, при некоторой производительности, после того как срыв образовался, соответствует меньшей производительности.

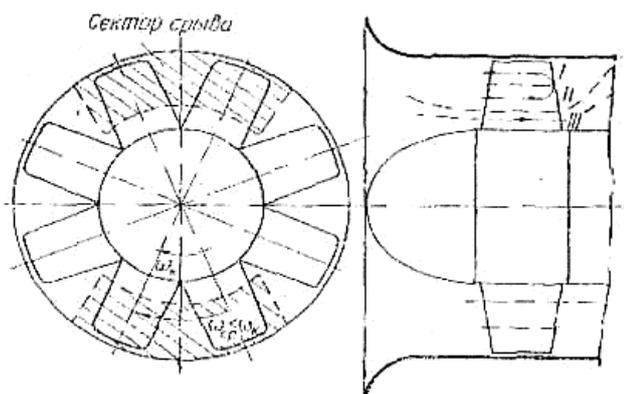


Рис. 2. Схема течения в колесе при вращающемся срыве

Основной причиной, вызывающей распространение срыва от периферии колеса к втулке, служит то, что возникший в первый момент обратный поток, пройдя через лопатки в область всасывания, оказывается сильно закрученным.

За счет турбулентного обмела с потоком, текущим ему навстречу, он сообщает последнему некоторый импульс момента, закручивая его в направлении вращения колеса, и тем уменьшает давление, развиваемое лопатками в зоне, соседней с зоной, занимаемой обратным потоком. В результате эта последняя зона начинает расширяться, что продолжается до наступления некоторого равновесия состояния.

По его наступлении в секторах, охваченных срывом, можно различать три зоны (рис. 2): I – зона обратного потока, II – зона прямого потока, образующего вместе с обратным потоком замкнутое течение, не создающее расхода в сети, и III – зона активного потока, обеспечивающего расход через присоединенную к вентилятору сеть [1].

В случае, если срыв распространяется до самой втулки, зона III отсутствует, и расход в сети создается только лопатками, лежащими вне секторов срыва. Обычно это имеет место у колес с относительно большими диаметрами втулок ( $d \geq 0,6$ ).

Основной причиной развития срыва и образования впадины на характеристике вентилятора является наличие большой тангенциальной составляющей скорости обратного потока.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известны причины возникновения и устройства для борьбы со вращающимся срывом (рис. 3).

Однако эти устройства эффективны лишь при сравнительно низких рабочих параметрах, развиваемых вентиляторами, при угле установки рабочего колеса до  $35^\circ$ .

Кроме того известны также устройства, работающие по принципу локализации возмущенной части потока. По этому принципу выполнен воздушный сепаратор, разработанный С.К. Ивановым (рис. 4) [2]. Этот сепаратор был успешно применен для вентиляторов с высоким коэффициентом давления.

К числу других средств борьбы с вращающимся срывом, разработанных ЦАГИ, следует отнести щелевые устройства. Эти устройства могут эффективно работать только в том случае, если сеть расположена на стороне нагнетания вентилятора. Устройство действует, если возможно удалить

срывные зоны через щель в корпусе вентилятора. Это может быть достигнуто, если давление в пространстве, куда поступают срывные зоны, меньше, чем там, где они возникают.

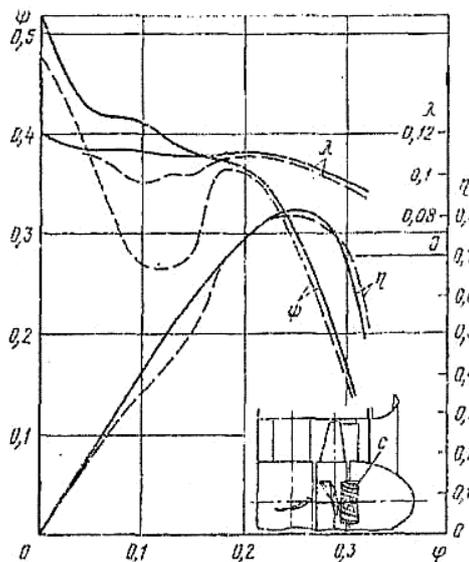


Рис. 3. Сравнение характеристик одноступенчатого вентилятора с сепаратором и без него: С – сепаратор; модель К-0,6; схема К+СА

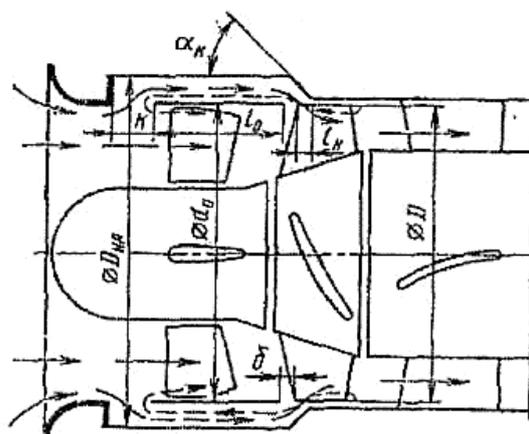


Рис. 4. Схема воздушного сепаратора С.К. Иванова

**Результаты исследований.** При испытаниях щелевых устройств были рекомендованы следующие параметры щели: щель имеет ширину, составляющую 22...35 процентов от проекции хорды профиля периферийного сечения на ось вращения рабочего колеса, а ее передняя кромка расположена в поперечной плоскости, проходящей через входные кромки лопаток в указанном сечении (рис. 5) [4].

К недостаткам воздушного сепаратора следует отнести наличие направляющего аппарата и то, что сепаратор расположен на наибольшем диаметре проточной части, что загромождает конструкцию вентилятора и уменьшает его производительность.

Авторами была предложена следующая конструкция противосрывного устройства. Между лопастями рабочего колеса установлены рассекатели в виде тонких изогнутых пластин. Углы входа и выхода пластин совпадают с направлением потока. Хорда пластин равна 0,4 хорды лопасти рабочего колеса (рис. 6).

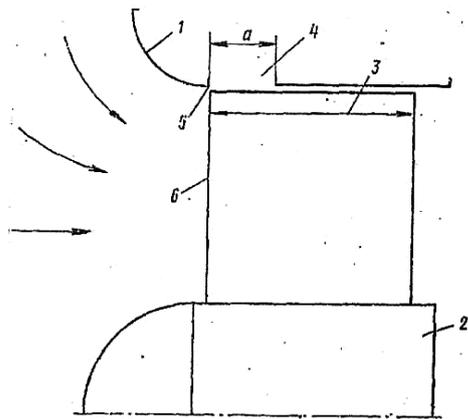


Рис. 5. Схема щелевого устройства

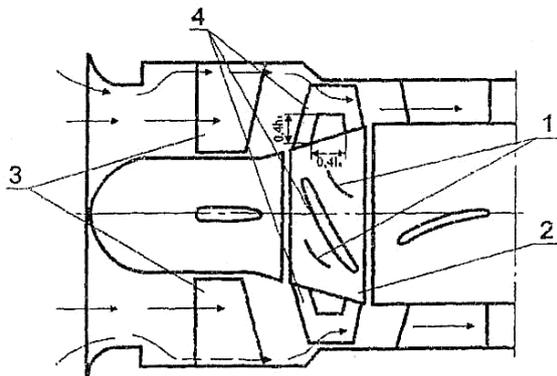


Рис. 6. Схема противосрывного устройства

Авторами также было предложено следующее устройство. Между лопастями направляющего аппарата устанавливаются тонкие лопатки 1. Хорда пластины равна 0,4 хорды лопасти 3 направляющего аппарата, а их высота равна 0,4 высоты этой же лопасти. Эти лопатки локализуют зоны обратных потоков в области периферии направляющего аппарата, одновременно раскручивают их до осевого направления. После этого резко слабеет взаимодействие основного и обратного потоков, что предупреждает развитие зоны отрыва по длине лопасти 4 рабочего колеса 2 (рис. 7).

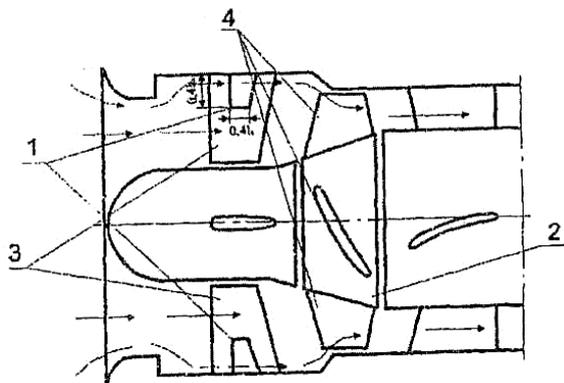


Рис. 7. Противосрывное устройство осевого вентилятора

Для двухступенчатого вентилятора выполненное сравнение характеристик, полученных при двух сепараторных и в случае, когда вместо сепаратора над первым рабочим колесом в кор-

пусе (рис. 8) выполнена щель. Там же приведены ее параметры.

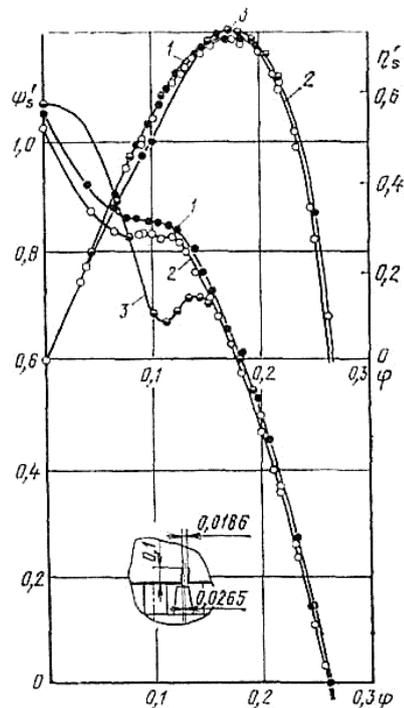


Рис. 8. Сравнение характеристик двухступенчатого вентилятора без противосрывного устройства 3, с двумя сепараторами 1, со щелью над первым колесом и сепаратором над вторым 2. Размеры на схеме щели даны в долях диаметра D

Щелевое устройство может эффективно работать только в том случае, если сеть расположена на стороне нагнетания вентилятора (ступени). Такое устройство может действовать, если возможно «удалить» срывные зоны через щель в корпусе вентилятора. Это может быть достигнуто, если давление в пространстве, куда поступают срывные зоны, меньше, чем там, где они возникают. При работе на сеть, расположенную на стороне нагнетания, давления на стенке корпуса вентилятора изменяется от меньшей величины перед ним до большей за ним по сравнению с давлением вне корпуса. На последнем, в области рабочего колеса, имеется место, где давление на определенном режиме работы равно давлению в окружающем пространстве. Если за такой режим принять режим максимального КПД или близкий к нему, то и при больших значениях производительности расход воздуха через щель будет или равен нулю, или воздух будет даже подсасываться. Наоборот, на режимах вблизи максимума давления, где образуются зоны вращающегося срыва, последние будут удаляться через щель. Тем самым достигается известная автоматичность процесса расширения диапазона устойчивой работы [3].

Сходный эффект, к которому приводит щель, был обнаружен в ранних опытах ЦАГИ с вентилятором, задние кромки лопаток рабочего колеса которого были выдвинуты за границы корпуса. При этом исчезла впадина и даже несколько увеличился статический КПД.

К числу других средств борьбы со вращающимся срывом, разработанным ЦАГИ, следует отнести щелевые устройства.

**Выводы.** Еще требует решения задача борьбы динамической схемы рабочее колесо + спрямляющее срывом для достаточно перспективной аэро- ющий аппарат (К+СА).

### Список литературы:

1. 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.
2. Пак В. В., Иванов С. К., Верещагин В. П. Шахтные вентиляционные установки местного проветривания / Пак В. В., Иванов С. К., Верещагин В. П. // М. Недра.: 1974. – 240 с.
3. Брусиловский И. В. Аэродинамика осевых вентиляторов / И. В. Брусиловский // – М.: Машиностроение. 1984. – 240 с.
4. Башков В. М., Смирнов В. А., Терещильников В. П. Осевой вентилятор / Башков В. М., Смирнов В. А., Терещильников В. П. // Авторское свидетельство № 1213255.22.10.1985 г.

**Башков В.М., Бабасев О.А.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

### ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ОСЬОВИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ ПРИ ВИНИКНЕННІ ЗРИВУ ПРИ ОБЕРТАННІ. ПРИСТРОЇ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ СТІЙКОСТІ РОБОТИ ВЕНТИЛЯТОРІВ

#### Анотація

У даній статті викладені причини виникнення обертаючого зриву при роботі осьового вентилятора. Обертовий зрив негативно впливає на динаміку осьового вентилятора і спотворює його характеристики. Розглянуті засоби боротьби з обертовим зривом, що виникає в осьових вентиляторах. Проведено аналіз зміни швидкохідності залежно від кута установки лопатей робочого колеса та кількості лопастей.

**Ключові слова:** осьовий вентилятор, обертовий зрив, протизривний пристрій.

**Bashkov V.M., Babaev A.A.**

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

### FEATURES WORK OF AXIAL FANS FOR ANY ROTATING STALL. DEVICES FOR STABILITY EXTENDED RANGE OF THE 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 are consider facility of the fight with revolving failure, appearing beside axial fans. The analysis of the specific speed change depending on the angle setting shovel impeller and the number of shovels.

**Keywords:** axial fan, revolving failure.