

С.А. Тимухин, М.В. Молчанов, Д.С. Долгих

МЕТОД КОСВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ТУРБОМАШИНЫ

Рассмотрен метод косвенного определения потерь давления в проточной части проектируемой турбомашины, приведено экспериментальное подтверждение данного метода.

Ключевые слова: турбомашины и гидродинамические передачи, аэродинамические характеристики, косвенное определение потерь давления.

В турбомашинах и гидродинамических передачах в существующей практике оценки потерь они обычно подразделяются на гидравлические, объемные и механические [1, 2, 3, 4]. Расчеты данных потерь и соответствующих им КПД ведутся по каждому виду, с последующим определением общего КПД машины или гидродинамической передачи. Такое грубое разделение потерь постоянно уточнялось и дополнялось соответствующими исследованиями, поскольку вопросы оценки потерь энергии при разработке и проектировании турбомашин и передач всегда относились к актуальным. К наиболее сложному виду потерь в турбомашинах относятся гидравлические потери, не изученные в настоящее время еще в полной мере, по этому на стадии проектирования турбомашин они могут определяться только приблизительно.

При общей схожести подходов к оценке гидравлических потерь к ним относятся по-разному в зависимости от вида машины. Так, например, для осевых вентиляторов [2] они подразделяются на профильные, вторичные, на связанные с трением, с радиальным зазором и другие. В центробежных компрессорах источником гидравлических потерь принято считать

сопротивления на твердых поверхностях, смешение потока, силы трения, ударные волны и макропотери [3].

Принято считать, что на давление в турбомашинах влияют главным образом гидравлические потери, однако существенное влияние на напорные характеристики (кривые давления) оказывают также утечки (объемные потери) в машинах, дисковое трение (механические потери) и др. Последнее, например, не снижает, а увеличивает статическое давление машины. Хорошо известны дисковые малощумные вентиляторы, давление в которых создается за счет сил трения дисков о воздух.

Учесть все многообразие указанных выше факторов, например, при расчете аэродинамической характеристики проектируемой турбомашины не предоставляется возможным, тем более что по многим видам потерь (вихревые, связанные с утечками, срывами потока, с взаимным влиянием потерь и др.) в настоящее время не существует обоснованных методик их прямого расчета.

Поэтому для оценки всех видов потерь, влияющих на аэродинамическую характеристику турбомашины, в настоящей работе предлагается косвенный экспериментально-теоретический метод, в основе которого лежит

комплексная оценка рассматриваемых потерь по ближайшему аналогу проектируемой машины. Суть метода заключается в сравнительной оценке экспериментальной аэродинамической характеристики аналога с его теоретической характеристикой (по статическому давлению). При этом определяется относительный уровень суммарных потерь давления в проточной части аналога, который затем переносится на проектируемую машину. Очевидно, что при подобном подходе очень важен выбор аналога проектируемой машины как с точки зрения геометрического, так и аэродинамического подобия.

На примере вентиляторов относительный уровень суммарных потерь, влияющих на аэродинамическую характеристику определится как отношение $P_{sv}/P_{svt} = K_{\text{сум}}$, где P_{sv} ; P_{svt} – экспериментальное и теоретическое статические давления вентилятора для расчетных точек (10–12 по характеристике вентилятора); $K_{\text{сум}}$ – коэффициент суммарных потерь, комплексно учитывающий все виды потерь, оказывающих влияние на рабочую аэродинамическую характеристику.

По своей физической сути этот коэффициент ближе всего соответствует гидравлическому КПД. Однако отличается от него значительно большей полнотой учета всех видов потерь, в том числе, объемных и механических, влияющих на рабочую аэродинамическую характеристику машины.

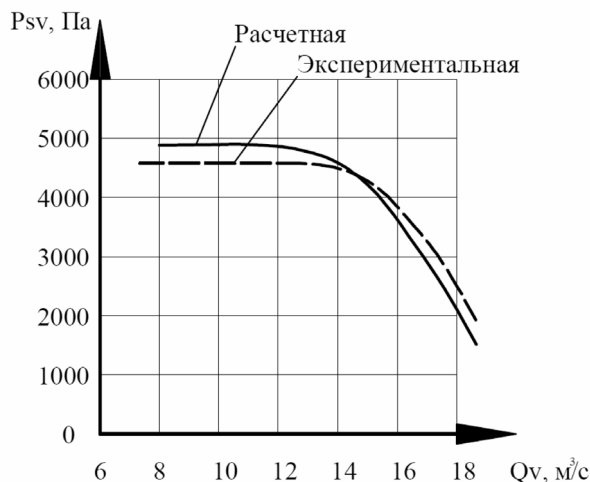
Так как на стадии проектирования турбомашин или гидродинамической передачи уже известны все кинематические и геометрические параметры, необходимые для расчета теоретической характеристики по статическому давлению, то при наличии такой характеристики и зависимости $K_{\text{сум}} = f(Q_v/Q_{vh})$, по выражению $P_{sv} = K_{\text{сум}} \cdot P_{svt}$ может быть выполнен расчет искомой аэродинамической характеристики проек-

тируемого вентилятора для расчетных точек. Здесь Q_v и Q_{vh} текущее и номинальное значения подачи вентилятора. Использование зависимостей P_{sv} ; P_{svt} ; $K_{\text{сум}} = f(Q_v/Q_{vh})$ позволяет осуществить процедуру реализации рассматриваемого метода косвенного определения потерь давления для аналогов и проектируемых машин с разными подачами.

Определение теоретических характеристик турбомашин по статическому давлению $P_{svt}-Q$ может быть реализовано на основе работы [6], где зависимости $P_{svt}-Q$ были получены в общем виде. С соответствующей коррекцией они могут быть применены для центробежных и осевых вентиляторов, насосов и компрессоров, а также для турбомашин смешанного принципа действия, когда аналоги должны подбираться отдельно по каждому типу рабочих колес.

Следует заметить, что методы косвенного определения каких-либо параметров турбомашин достаточно плодотворное применение находили и ранее. Например, при экспериментальном установлении факта устойчивого значения коэффициента относительной скорости закругливания для высокотехнологичных тихоходных и нормальных колес лопастных насосов оно было положено в основу широкого проектирования и производства центробежных лопастных насосов с указанными колесами [7]. Известен также способ косвенного определения давления и КПД вентиляторов [5] по разности температур текучей среды на входе и выходе из них, дающий достаточно достоверные (зачастую более точные чем при прямом расчете) результаты и др.

Промышленная проверка рассматриваемого метода бала апробирована при расчете, проектировании и изготовлении опытных образцов вентилятора ВМЭ-8,2КГ, разработанного по аэродинамической схеме ОРВ-42-126,



Расчетная и экспериментальная аэродинамические характеристики вентилятора ВМЭ 8,2ГК

созданной на кафедре горной механики Уральского государственного горного университета [8]. В качестве аналога был выбран наиболее близкий по аэродинамической схеме и наклону касательных к теоретическим характеристикам аналога и проектируемой машины в расчетной (номинальной) точке осевой вентилятор ВМЭВО-8А (разработка и производство фирмы «Аэровент» (Украина)). На рисунке приведены расчетная (на стадии проектирования) аэродинамическая характеристика и экспериментальная, полученная после изготовления вен-

тилятора и испытания его на испытательном стенде завода-изготовителя. Как видно из рисунка сходимость расчетной и экспериментальной характеристики оказалась достаточно высокой. Среднеквадратичное отклонение расчетной аэродинамической характеристики от экспериментальной составило 1,72%, что свидетельствует об эффективности предложенного метода косвенной оценки суммарных потерь давления в проточных частях турбомашин и целесообразности его дальнейшего совершенствования и более широкого применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.М. Водоотливные установки. Справочное пособие. – М.: Недра, 1990. – 254 с.
2. Брусиловский И.В. Аэродинамический расчет осевых вентиляторов. – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.
3. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 688 с.
4. Стесин С.П., Яковленко Е.А. Попастные машины и гидравлические передачи: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
5. Эжк Б. Проектирование и эксплуатация центробежных и осевых вентиляторов. – М.: Госгортехиздат, – 1959. – 566 с.
6. Тимухин С.А. Потери давления на главных вентиляторных установках // Известия вузов. Горный журнал. – 1987. – № 10. – С. 115–117.
7. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. – М.: Машиностроение, 1966. – 364 с.
8. Тимухин С.А., Копачев В.Ф. Осевые вентиляторы: научное издание. – Екатеринбург: Издательство УГТУ, 2011. – 256 с. **ИЛАС**

Тимухин Сергей Андреевич – доктор технических наук, профессор,
Молчанов Максим Владимирович – аспирант, e-mail: molchanov.m.v@yandex.ru,
Долгих Денис Сергеевич – соискатель кафедры,
Уральский государственный горный университет.

UDC 622.44

THE METHOD OF PRESSURE LOSS INDIRECT DETECTION IN TURBINE SETTING OF DESIGN TURBOMACHINE

Timukhin S.A.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Molchanov M.V.¹, Graduate Student, e-mail: molchanov.m.v@yandex.ru,
Dolgikh D.S.¹, Applicant,
¹ Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia.

The method of pressure loss indirect detection in turbine setting of design turbomachine is considered, the experimental demonstration of this method is presented.

Key words: turbomachines and hydrodynamic transmissions, aerodynamical characteristics, pressure loss indirect detection.

REFERENCES

1. Popov V.M. *Vodootlivnye ustanovki*. Spravochnoe posobie (Dewatering plants. Reference aid), Moscow, Nedra, 1990, 254 p.
2. Brusilovskii I.V. *Aerodinamicheskii raschet osevykh ventilyatorov* (Design aerodynamics of axial fans), Moscow, Mashinostroenie, 1986, 288 p.
3. Kampsti N. *Aerodinamika kompressorov*: Per. s angl (Aerodynamics of compressors, English–Russian translation), Moscow, Mir, 2000, 688 p.
4. Stesin S.P., Yakovlenko E.A. *Lopastnye mashiny i gidravlicheskie peredachi: Uchebnik dlya vuzov* (Vane-type machines and hydraulic gears, Textbook for high schools), Moscow, Mashinostroenie, 1990, 240 p.
5. Ekk B. *Proektirovanie i ekspluatatsiya tsentrobezhnykh i osevykh ventilyatorov* (Design and operation of centrifugal and axial fans), Moscow, Gosgortekhzdat, 1959, 566 p.
6. Timukhin S.A. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 1987, no 10, pp. 115–117.
7. Lomakin A.A. *Tsentrobezhnye i oseve nasosy* (Centrifugal and axial pumps), Moscow, Mashinostroenie, 1966, 364 p.
8. Timukhin S.A., Kopachev V.F. *Oseradial'nye ventilyatory: nauchnoe izdanie* (Axial-radial fans: Scientific publication), Ekaterinburg, Izdatel'stvo UGGU, 2011, 256 p.



О Т Р Е Д А К Ц И И

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 5 2015 г. в статье автора Черских О.И. «Повышение качества производственного процесса на угледобывающем предприятии» на с. 297 допущена техническая ошибка в подписуночной подписи:

Напечатано	Следует читать
Рис. 1. Показатели работы горных участков разреза «Бородинский» (2012–2014 гг.): а) Горный участок № 1 «Добычной», б) Горный участок № 2 «Вскрышной»	Рис. 1. Показатели работы горных участков разреза «Бородинский» (2012–2014 гг.): а) Горный участок № 2 «Вскрышной», б) Горный участок № 1 «Добычной»