

УДК 622.4

Исследование прочности рабочих колес со сдвоенными листовыми лопатками ряда высоконагруженных вентиляторов главного проветривания шахт*

Н.Н. ПЕТРОВ, Н.В. ПАНОВА

Приведены результаты проведенных исследований в виде обобщенных безразмерных моделей адаптивного лопаточного узла и корпуса рабочего колеса, позволяющие проектировать вентиляторы серии ВО на повышенные скорости вращения для увеличения адаптивности и эксплуатационных характеристик вентиляторов главного проветривания. Приводится подтверждение работоспособности полученных моделей.

Ключевые слова: адаптивный лопаточный узел, безразмерная модель лопаточного узла, безразмерная модель корпуса рабочего колеса, напряженно-деформированное состояние, частота колебаний.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость увеличения вентиляционных параметров (по давлению и производительности) связана с постоянным углублением работ в шахтах и ростом выделений вредных примесей, что накладывает дополнительные требования на вентиляторы главного проветривания шахт.

Разработана серия вентиляторов ВО на базе аэродинамических схем АМ–17А и АМ–19А со сдвоенными листовыми поворотными на ходу лопатками рабочего колеса специальной геометрии [1], с повышенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с вентиляторами серии ВОД. Путем повышения окружных скоростей вращения по концам лопаток рабочего колеса возможно дальнейшее значительное увеличение эксплуатационных характеристик, но при этом наблюдается рост действующих нагрузок на лопатки, корпус рабочего колеса и ротор вентилятора в целом.

Вентиляторы главного проветривания большую часть времени эксплуатации работает с низкими технико-экономическими показателями, что объяснимо недостатком адаптивных возможностей.

Выполненные в ИГД СО РАН аэродинамические исследования осевых вентиляторов [2–4] установили, что значительное повышение размера поля возможных режимов в координатах «давление–производительность» и увеличение адаптивности возможно только на основе создания осевых вентиляторов с заменяемыми сдвоенными листовыми (не телесными) лопатками рабочего колеса (РК).

Сдвоенные листовые лопатки по сравнению с профильными имеют ряд преимуществ: возможность полной ликвидации изгибающих и крутящих моментов центробежных сил относительно оси поворота и существенное упрощение технологии изготовления.

Для увеличения адаптивности и упрощения процедуры замены лопаток, выполненных по одной аэродинамической схеме, на лопатки, выполненные по другой аэродинамической схеме с целью повышения давления и производительности вентиляторной установки, были внесены

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 14.В37.21.0333 от 26.07.12 г.

** Статья получена 21 января 2013 г.*

двух высоконагруженных машин. Полученные модели позволяют проектировать лопаточный узел и корпус рабочего колеса для любого необходимого типоразмера вентилятора с диаметром РК в пределах от 3000 до 5000 мм и с высокими окружными скоростями по концам лопаток (до 160 м/с). При проектировании необходимо знать диаметр РК и частоту вращения.

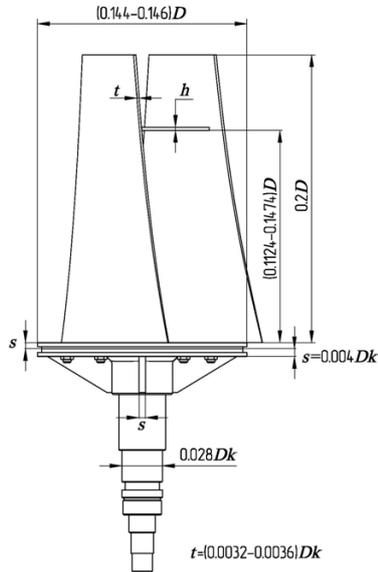


Рис. 2. Обобщенная безразмерная модель лопаточного узла: s, t, h – толщины листа материала отдельных элементов конструкции лопаточного узла; h – толщина перемычки, равна толщине лопасти в сечении, где установлена перемычка; диаметр хвостовика в месте крепления радиально-упорного сферического роликоподшипника округляется в большую сторону до существующего типоразмера

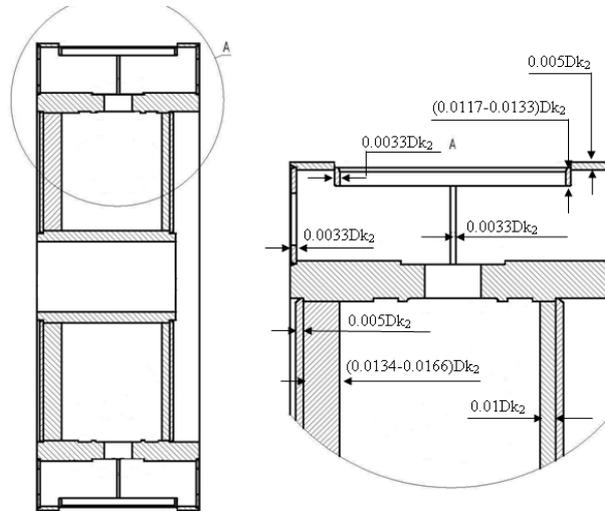


Рис. 3. Безразмерная модель корпуса рабочего колеса

Коэффициенты k и k_2 выведены исходя из условий прочности и необходимой отстройки от резонанса корпуса рабочего колеса и лопаточного узла, в результате численных экспериментов ряда исследуемых машин:

$$k = (0.0004Dn)^2, \quad k_2 = 0.00033Dn$$

где n – частота вращения ротора вентилятора, об/мин; D – диаметр РК, м.

По созданным безразмерным моделям спроектированы лопаточные узлы и корпуса рабочих колес вентиляторов с диаметром 3000, 3600, 4300, 5000 мм и с частотой вращения соот-

ветственно 1000, 750, 600, 500 об/мин. Проведены исследования собственных частот колебаний и напряженно-деформированного состояния (табл. 1).

Таблица 1

Собственные частоты колебаний лопаточных узлов и корпусов рабочих колес смоделированных по полученным моделям

D , мм	1-ая собств. частота колебаний корпуса РК, Гц	Коэффициент запаса	1-ая собств. частота колебаний лопаточного узла, Гц	Коэффициент запаса
3000	38.3	2.3	83.6	5.0
3600	27.6	2.2	68.6	5.5
4300	21.5	2.1	35.7	3.5
5000	14.4	2.1	46.7	5.6

Коэффициенты отстройки для адаптивных лопаточных узлов и корпусов рабочих колес, смоделированных по полученным безразмерным моделям, удовлетворяют необходимому коэффициенту отстройки от резонанса – более 1.3 (рабочая частота вращения от 16.7 до 8.3 Гц). Произведен анализ смоделированных лопаточных узлов и корпусов рабочих колес по максимальным эквивалентным напряжениям (табл. 2). Лопаточный узел выполнен из стали 30ХГСА ГОСТ 4543–71 (предел текучести $\sigma_T = 830$ МПа, предел прочности $\sigma_B = 1080$ МПа). Элементы корпуса рабочего колеса проектируются из стали 10ХСНД ГОСТ 19282–73 (предел текучести $\sigma_T = 400$ МПа, предел прочности $\sigma_B = 540$ МПа). Коэффициент запаса по максимальным удовлетворяет необходимому запасу.

Таблица 2

Максимальные напряжения в лопаточных узлах и корпусах рабочих колес смоделированных по полученным моделям

D , мм	σ_{\max} в лопаточном узле, МПа	Коэффициент запаса	σ_{\max} в корпусе рабочего колеса, МПа	Коэффициент запаса
3000	467	1.77	296	1.35
3600	425	1.95	289	1.38
4300	485	1.71	301	1.32
5000	432	1.92	306	1.30

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований созданы обобщенные безразмерные модели лопаточного узла с высоким уровнем адаптации и корпуса рабочего колеса для ряда исследуемых высоконагруженных машин, позволяющие проектировать рабочее колесо со сдвоенными листовыми лопатками для любого необходимого типоразмера вентилятора с диаметром от 3000 до 5000 мм с высокими окружными скоростями от 120 до 160 м/с. Разработанный лопаточный узел является адаптивным вследствие возможной замены лопаток, построенных по одной аэродинамической схеме, на лопатки, построенные по другой аэродинамической схеме, что позволяет при необходимости увеличить давление и (или) производительность находящейся в эксплуатации вентиляторной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Петров Н.Н.** Исследование эволюции шахтных вентиляционных систем / Н.Н. Петров, Ю.М. Кайгородов // Автоматическое управление в горном деле. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1974.
- [2] **Петров Н.Н.** Осевые вентиляторы главного проветривания шахт повышенной адаптивности, экономичности и надежности / Н.Н. Петров // Сборник трудов 22-ого Всемирного Горного Конгресса. – Турция, 2011.
- [3] **Петров Н.Н.** Теория проектирования реверсивных осевых вентиляторов с поворотными на ходу лопатками рабочего колеса / Н.Н. Петров // ФТПРПИ. – 1999 - № 5.
- [4] **Петров Н.Н.** Разработка научных основ и освоение производства нового ряда осевых вентиляторов / Н.Н. Петров, Н.А. Попов, Е.Ю. Русский // ФТПРПИ. – 2007. – № 3.
- [5] **Беззубко И.А.** Расчет центробежных сил и моментов, действующих на рабочие лопатки осевых вентиляторов / И.А. Беззубко // Прогрессивное оборудование шахтных стационарных установок. – Донецк: ВНИИГМ им. М.М. Федорова, 1989. – С. 153–164.
- [6] **Козюрин С.В.** Анализ частот и форм колебаний двоянных листовых лопаток рабочих колес осевых вентиляторов / С.В. Козюрин, Н.А. Попов // «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». Труды Международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2002.
- [7] **Красюк А.М.** Исследование динамических нагрузок листовых лопаток тоннельных вентиляторов от воздушного потока / А.М. Красюк, С.В. Козюрин, Е.А. Батяев // «Динамика и прочность горных машин». Тезисы докладов международной конференции. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2001. – С. 110–112.
- [8] **Елтышев Ю.В.** Исследование динамики и прочности основных узлов новых осевых вентиляторов главного проветривания шахт и рудников / Ю.В. Елтышев и др. // «Динамика и прочность горных машин». Сборник трудов II Международной конференции. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2003. – С. 148–154.
- [9] **Петров Н.Н.** Анализ динамики и прочности основных узлов осевого вентилятора ВО-36К / Н.Н. Петров, Е.Ю. Русский // Труды XII Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». Томский политехнический университет, 2008. – С. 634–636.
- [10] **Красюк А.М.** Динамика и прочность двоянных листовых лопаток осевых вентиляторов / А.М. Красюк, Е.Ю. Русский // Горное оборудование и электромеханика, 2009 – № 7, с. 52 - 56.
- [11] **Красюк А.М.** К оценки прочности высоконагруженных рабочих колес крупных шахтных осевых вентиляторов / А.М. Красюк, Е.Ю. Русский, Н.А. Попов // ФТПРПИ. – 2012. – № 2.

Петров Нестер Никитович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник института горного дела СО РАН. Основное направление научных исследований: аэродинамика, способы регулирования и реверсирования крупных промышленных осевых вентиляторов. Имеет более 150 публикаций.

Панова Надежда Владимировна, аспирантка института горного дела СО РАН. Основное направление научных исследований: прочность крупных высоконагруженных вентиляторов главного проветривания шахт. Имеет около 8 публикаций.

Petrov N.N., Panova N.V.

The investigation of the strength of the working wheels with double leaf blades of a number of high-loaded fans of the main airing of mines

Are the result of the research in the form of generalized non-dimensional models of adaptive scapular node and housing impeller to design the fans of the series IN the higher speed of rotation to increase the adaptability and performance of the fan of the main airing. Given evidence obtained models.

Key words: adaptive scapular node, the dimensionless model scapular node, the dimensionless model of the housing impeller, the stress-strain state, the frequency of the oscillations.