Балансировка лопастей вентилятора градирни

• **Антонычев С. В.**[1], ООО “Энергопромсервис”, Москва

На конкретном примере решена проблема вибрации на градирне типа БМГ-1000. Применение метода динамической балансировки лопастей низкооборотного вентилятора градирни непосредственно на месте эксплуатации агрегата (в собственных опорах), с использованием низкочастотной версии прибора “ТОПАЗ-НЧ” позволило обеспечить безопасную эксплуатацию агрегата и снять разрушающую низкочастотную вибрацию со всей градирни.

Ключевые слова: балансировка, градирня, вибродиагностика, вибрация.

Вентиляторы градирен являются одними из главных технологических элементов, без которых невозможно осуществить полноценный и эффективный процесс охлаждения оборотной воды.

На сегодняшний день, вентиляторы эксплуатируются на промышленных градирнях многих предприятий и ТЭЦ. Рабочее колесо таких установок состоит из стальной ступицы и лопастей из металла или стеклопластика. Крепление лопастей к ступице при помощи накидного фланца позволяет регулировать угол атаки с точностью до градуса.

Существует несколько стандартных видов привода вентилятора. Это прямой привод с использованием тихоходного электродвигателя (рис. 1) или мотора – редуктора, а также выносной привод (рис. 2), реализуемый по схеме мотор – вал – редуктор.

В адрес ООО “Энергопромсервис” регулярно поступают обращения от различных организаций по решению проблемы вибрации на вентиляторе градирни. Текст обращения, примерно следующий “Требуется проведение вибродиагностики для определения причин повышенной вибрации на вентиляторной градирне”. Дополнительно указываются жалобы на вибрацию:

в процессе эксплуатации градирни № 4 на кровле наблюдается высокий уровень вибрации (ООО “Синтез ОКА”, г. Дзержинск, Нижегородская область);

подрядчиком был осуществлён некачественный монтаж каркаса и опорной конструкции под двигатель вентилятора – рама не проварена и фактически висит в воздухе;

возможен дисбаланс лопастей вентилятора градирни и, как следствие, – выход из строя подшипников электродвигателя (АО “ННК-Хабаровский нефтеперерабатывающий завод”, г. Хабаровск);

после замены крыльчатки на новую обнаружилась вибрация. Старая крыльчатка была повреждена при запуске вентилятора с наледью на ней. При этом была повреждена площадка установки элек-

[1] Антонычев Станислав Владимирович: 25111976@list.ru

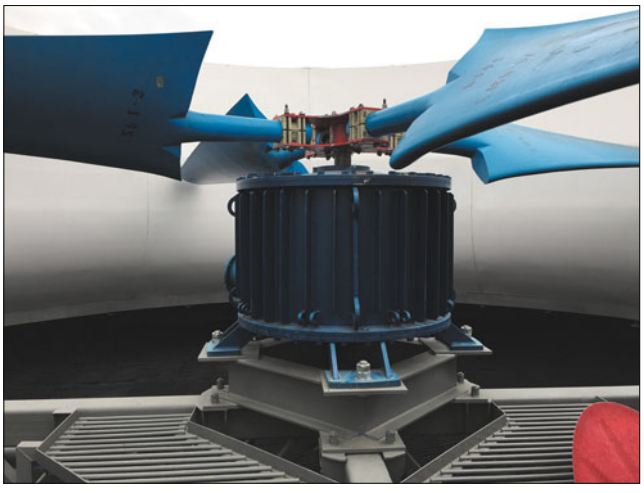

Рис. 1. Градирня с прямым приводом с использованием тихоходного электродвигателя (АО “ННК-Хабаровский нефтеперерабатывающий завод”, Хабаровск)



Рис. 2. Градирня с выносным приводом по схеме мотор – вал – редуктор (ОАО “Гродно Азот”, г. Гродно, Республика Беларусь)

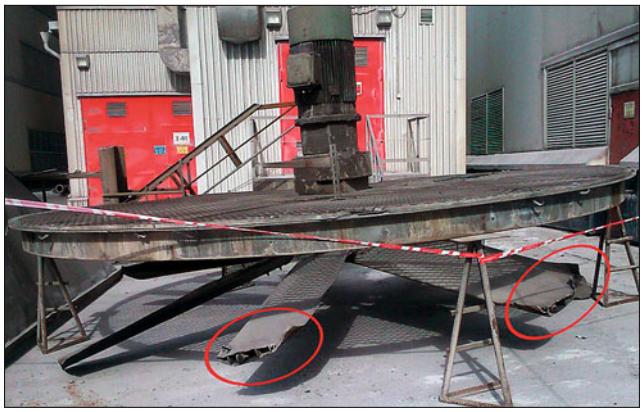

Рис. 3. Разрушенные лопасти вентилятора градирни на ОАО “Первоуральский новотрубный завод”



Рис. 4. Стеклопластиковые лопасти вентилятора № 4 градирни типа БМГ-1000

тродвигателя (ООО “Трансавтоматика”, г. Волжский, Волгоградская обл.);

углы атаки лопастей мы выставляли сами, углы атаки снижали на 30 – 40%, но эффект по снижению вибрации минимальный (ОАО “Гродно Азот”, г. Гродно, Республика Беларусь).

Основной причиной аварийных поломок вентиляторов является неудовлетворительная балансировка или разбалансировка крыльчаток в процессе работы, вызывающая сильную вибрацию [1].

Нарушение баланса рабочего колеса с большим весом приводит к повышенному износу подшипников электродвигателя, разрушению лопастей, появлению трещин в роторе и местах сварки опорных балок вентилятора, что значительно сокращает срок службы вентиляторной установки. Так, из-за постоянной повышенной вибрации, после 5 лет эксплуатации произошло разрушение лопастей градирни на ОАО “Первоуральский новотрубный завод” (рис. 3).

Для исключения аварий и увеличения срока службы вентилятора градирни ООО “Энергопромсервис” предлагает современное и эффективное решение – динамическую балансировку лопастей.

Пример успешно выполненной балансировки на реальном объекте. С химического производства “Синтез ОКА” к нам обратились для решения проблемы вибрации на вентиляторе № 4 градирни типа БМГ-1000 (рис. 4), в результате которой остановился производственный процесс.

Работу 27 – 28 мая 2019 г. выполнил специалист II уровня по вибрационному анализу машин.

Учитывая, что вентилятор градирни относится к низкооборотным машинам (фактически зарегистрированная частота вращения вала составляет 247 об/мин, или 4,12 Гц), то и диагностическое оборудование должно соответствовать нижнему пределу частоты. Для виброналадки вентилятора градирни № 4 был выбран прибор для измерения и анализа вибрации низкооборотных машин “ТОПАЗ-НЧ” (нижний предел частоты 0,3 Гц) в комплекте с низкочастотными датчиками вибрации РА-057 (рис. 5).

Виброанализатор в низкочастотном исполнении “ТОПАЗ-НЧ” был разработан в конце прошлого века фирмой “ДИАМЕХ” (Москва). До сих пор технические решения, заложенные в данном приборе, – наличие всех необходимых исследова-



а)



б)

Рис. 5. Переносной виброанализатор “ТОПАЗ-НЧ” в низкочастотной версии от 0,3 Гц (*а*) и датчик вибрации низкочастотный РА-057 (*б*)

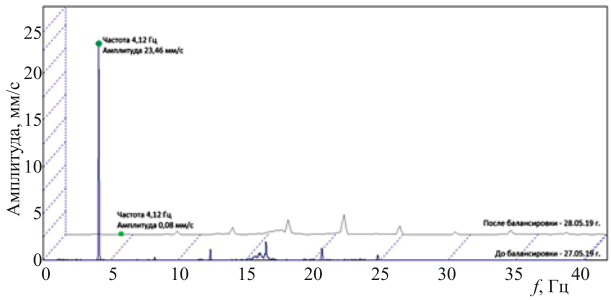

Рис. 6. Каскад спектров виброскорости до и после балансировки (точка 1П, на 90° от технологического люка)

тельских функций, расширенный частотный диапазон прибора 0,3 – 40 000 Гц, встроенная балансировочная программа, надёжность конструкции и высокая точность метрологических характеристик – подтверждают свою жизненную стойкость.

Главное для вибродиагноста – это, обладая функционалом прибора, избежать ошибок при постановке диагноза. Для этого перед вибродиагностикой вентилятора градирни были выполнены основные настройки анализатора:

верхняя граничная частота спектра определяется из соотношения $f_{гр} = 2f_{л} + 2f_{вр} = 2f_{вр}(N + 1)$;

лопаточная частота $f_{л} = f_{вр}N$, частота вращения рабочего колеса $f_{вр} = 4{,}12$ Гц, число лопаток $N = 6$, тогда $f_{гр} = 2 \cdot 4{,}12 \cdot (6 + 1) = 57{,}68$ Гц. В настройках анализатора “ТОПАЗ-НЧ” выбираем ближайшее значение 100 Гц в сторону увеличения;

при определении количества частотных полос в спектре придерживаются правила, чтобы первая гармоника на частоте вращения попала не менее, чем в восьмую полосу. Из этого условия определяем ширину единичной полосы $\Delta f = f_{вр}/8 = 4{,}12/8 = 0{,}52$ Гц. Далее необходимое число полос n для спектра огибающей анализатор “ТОПАЗ-НЧ” выберет автоматически, а именно – 800 полос. Тогда окончательная ширина одной полосы $\Delta f = 100/800 = 0{,}125$ Гц.

Источники вибрации и характерные частоты, на которых диагностируются дефекты вентиляторов подробно описаны в ГОСТ 31350-2007 [2] (см. справочное приложение С. Источники вибрации).

Диагностируемый вентилятор № 4 градирни типа БМГ-1000 имеет жёсткую опору и относится к категории BV-3 (ГОСТ 31350-2007, табл. 1 – Категории вентиляторов), для которой предельное значение вибрации на месте эксплуатации (СКЗ виброскорости, мм/с), соответствующее состоянию “Пуск в эксплуатацию”, составляет 4,5 мм/с (ГОСТ 31350-2007, табл. 5 – Предельные значения вибрации на месте эксплуатации).

Перед балансировкой спектральный анализ вибрации показал, что максимальный общий уровень вибрации (24,5 мм/с) наблюдается в подшипнике электродвигателя со стороны рабочего колеса в точке, которую назовём 1П (табл. 1). Мощность

Таблица 1

Направление измерения	Точка 1П		Норма по ГОСТ 31350-2007
	до	после	
Поперечное, со стороны технологического люка	13,0	4,0	4,5
Поперечное, на 90° от технологического люка	24,5	3,7	

вибросигнала сосредоточена на оборотной частоте вращения рабочего колеса ($4{,}12 \times 60 = 247$ об/мин), что является диагностическим признаком классического дисбаланса рабочего колеса.

Амплитуда всех гармоник “механической природы” (обычно это гармоники от первой до десятой) в спектре значительно меньше (не менее чем в 3 – 5 раз) амплитуды гармоники оборотной частоты ротора. Если производить сравнение по мощности, то не менее 70% мощности вибросигнала должно быть сосредоточено в оборотной гармонике [3].

Эти признаки небаланса имеют место во всех вибросигналах, зарегистрированных на опорных подшипниках вентилятора № 4 градирни типа БМГ-1000.

Процедура одноплоскостной балансировки с двумя измерительными точками сводится к отысканию чувствительности вибрации опоры (опор) к дисбалансу в выбранной для коррекции плоскости и отысканию по этой чувствительности (динамическим коэффициентам влияния – ДКВ) необходимых корректирующих масс.

Сам процесс балансировки в собственных опорах в портативном приборе “ТОПАЗ-НЧ” реализован по этапам (шаг за шагом): измеряем начальные значения фазы и уровня вибрации – исходная вибрация, устанавливаем на лопасть пробный груз (пробная масса – струбцина массой 500 г), измеряем новые значения фазы и вибрации, далее, используя полученные данные, рассчитываем необходимую массу расчётного груза и угол его установки для устранения дисбаланса.

Виброанализатор “ТОПАЗ-НЧ” оснащён важной для балансировки функцией сложения и разложения векторов, проверки матрицы коэффициентов влияния на устойчивость, расчётов матричным и векторным способами.

Данные СКЗ виброскорости (в миллиметрах в секунду) до и после балансировки представлены в табл. 1.

В результате балансировки были определены масса и угловое положение груза, который минимизирует суммарный динамический дисбаланс рабочего колеса вентилятора. Данные о балансировочных пусках представлены в табл. 2.

Для разложения рассчитанной корректирующей массы между лопастями в виброанализаторе “ТОПАЗ-НЧ” был применён векторный калькуля-

Таблица 2

Пуск	Масса и угол установки балансировочного груза	Точка 1П			
		со стороны технологического люка		на 90° от технологического люка	
		S, мкм	Фаза, град	*S*, мкм	Фаза, град
Исходная вибрация	–	1162	159	2557	249
Пробный пуск	500 г в 0°	980	171	1830	267
Контрольный пуск 1	1341 г в 36° или (632 г в 0° и 908 г в 60°)	65	81	102	174
Контрольный пуск 2	56 г в 320° или (23 г в 0° и 41 г в 300°)	10	65	27	145
Контрольный пуск 3	14 г в 292° или (2 г в 240° и 13 г в 300°)	4	49	12	235

тор. Вентилятор № 4 градирни типа БМГ-1000 имеет 6 лопастей, соответственно угол между лопастями составляет 60°.

В результате балансировки лопастей вентилятора № 4 градирни типа БМГ-1000 достигнуто вибрационное состояние “Пуск в эксплуатацию”, при котором возможна долговременная непрерывная работа машины на номинальной рабочей частоте вращения (ГОСТ 31350-2007).

После установки балансировочных грузов общей массой 1,6 кг, составляющая оборотной частоты (4,12 Гц) на спектре снизилась с 23,46 до 0,08 мм/с. Общий уровень вибрации (СКЗ виброскорости) снижен с 24,50 до 3,70 мм/с. Каскад спектров виброскорости подшипника электродвигателя со стороны рабочего колеса (до и после балансировки) представлен на рис. 6.

Список литературы

1. *Методические* указания по эксплуатации вентиляторных градирен [Текст]: РД 34.22.505. – Введ. 1975. – М.: ОРГРЭС, 1977.
2. *Вибрация*. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки [Текст]: ГОСТ 31350-2007. – Введ. 2008-07-01.
3. *Русов, В. А.* Спектральная вибродиагностика [Текст] / В. А. Русов. – Пермь, 1996.



Синтез ОКА
Общество с ограниченной ответственностью

606000, Россия, Нижегородская обл., г. Дзержинск, Восточный промрайон Химмаш,
7 км Восточного шоссе, здание 547
Телефон/факс: +7 (8313) 27-25-84, 27-25-72
E-mail: info@sintez-oka.ru; http://www.sintez-oka.ru
ОКПО 78722668; ОКОНХ 13320; ОГРН 1055216600735; ИНН 5249079128; КПП 524901001

5 июня 2019 № СО-1628/-19

На № _____ от _____

Генеральному директору

ООО «Энергопромсервис»

Антонычеву С.В.

ОТЗЫВ

Руководство ООО «Синтез ОКА» выражает благодарность специалисту II уровня по вибрационному анализу машин Станиславу Антонычеву за своевременное устранение вибрации на вентиляторе №4 градирни типа БМГ-1000.

Станислав в двухдневный срок, при помощи лучшего в своем классе низкочастотного виброизмерительного прибора «ТОПАЗ» смог успокоить крупный низкооборотный вентилятор, тем самым сняв вибрацию со всей градирни.

Проблема вибрации на таком сооружении как градирня влечет за собой повреждение подшипников электродвигателя, разрушение лопастей из-за задевания о диффузор, появление трещин в роторе и местах сварки опорных балок вентилятора.

Результат работы: в результате балансировки лопастей вентилятора общий уровень вибрации (СКЗ виброскорости) снижен с 24,0 мм/с до 3,0 мм/с. Около 2-х килограммов балансировочных грузов было установлено на лопасти.

Технический директор Р.Р. Колтун