

# НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ БАЛАНСИРОВОЧНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ООО "ДИАМЕХ 2000":

**Игорь Иосифович Радчик**, генеральный директор  
**Дмитрий Федорович Скворцов**, руководитель Центра подготовки специалистов  
**Константин Константинович Якутин**, начальник производства балансировочных станков

Проблема качественного уравнивания роторов приобретает особую актуальность при производстве газотурбинных двигателей четвёртого и пятого поколений с высокими частотами вращения роторов, проходящими при пусках и остановках двигателей целый ряд критик и работающих в условиях высоких температур, давлений и динамических нагрузок.

Достижение минимального дисбаланса при балансировке ротора на станке способствует снижению вибрации двигателя на частоте вращения, увеличению межремонтного ресурса и повышению надёжности, усталостной прочности и долговечности двигателя.

Ранее на предприятиях авиационной отрасли в основном использовались балансировочные станки серии ДБ производства Савёловского машиностроительного завода, принадлежащего отрасли. Нужно отметить, что основную массу станков составляли станки резонансного типа, эти станки достойно отработали по 30 - 50 лет и в настоящее время уже подлежат замене.

К современным балансировочным станкам предъявляются следующие требования:

1. Высокая чувствительность станка и точность уравнивания. Минимально достижимый остаточный удельный дисбаланс в каждой плоскости коррекции должен стабильно измеряться в пределах 0,05 г-мм/кг. Должна быть обеспечена стабильность показаний величины и фазы вибрации при измерениях.

2. Режим прогрева ротора, возможность вращения ротора в течение длительного времени на малых частотах вращения без возникновения негативных явлений в виде износа роликов станка или накатки опорных шеек ротора.

3. Плавный запуск и останов станка.

4. Отсутствие массивного виброизолированного фундамента.

5. Удобства эксплуатации станка, такие как автоматический доворот ротора на требуемый угол, наличие укладчиков ротора для плавной и безударной укладки, универсальный ременный привод, опоры с цилиндрическими роликами.

6. Измерительно-управляющий блок на базе современного промышленного компьютера с сенсорным экраном не менее 12 дюймов, обеспечивающий:

- надёжный пуск и останов станка;
- измерение вибрации в двух и более точках;
- расчёт корректирующих грузов в двух и более плоскостях коррекции по методу коэффициентов влияния;
- запоминание коэффициентов влияния для однотипных роторов (не менее 1000 типов);
- просмотр текущих и предыдущих значений углов и дисбалансов;
- усреднение балансировочных данных по результатам нескольких циклов балансировки;
- расстановку балансировочных грузов с заданными массами и с учётом занятых мест;
- возможность балансировки с расстановкой двух грузов

заданной массы;

- удобство пользования отображённой информацией.

7. Минимально возможная для обеспечения высокой точности и стабильности показаний частота вращения ротора при балансировке с целью обеспечения безопасной работы и снижения потребления электроэнергии.

8. Простота эксплуатации и обслуживания.

9. Высокая надёжность.

Всем этим требованиям удовлетворяют балансировочные станки серии ВМ, разработанные и производимые серийно российским предприятием "ДИАМЕХ 2000", основанным в 1989 г. Серийное производство балансировочных станков было начато в 1995 г. с модели ВМ-3000 грузоподъёмностью до 3000 кг. Всего на данный момент было реализовано более 900 станков 16-и моделей, из которых 30 станков грузоподъёмностью 40...90 т (рис. 1).



Рис. 1. Балансировочный станок ВМ-36000 грузоподъёмность 40 т

Конструктивно станки серии ВМ выполнены по схеме с шарнирными податливыми опорами, работающими в резонансной области. В основу конструкции заложен принцип маятника, который фактически является механическим фильтром. Такая конструкция позволяет эффективно выделить полезный сигнал датчика вибрации на частоте вращения ротора и отделить его от паразитных колебаний окружающей среды. Именно такая конструкция позволяет отказаться от дорогостоящего фундамента и достигать высокой точности уравнивания даже при установке станка на обычный цеховой пол в помещениях с повышенным вибрационным фоном, например, в цехе компрессорной станции на газопроводе или в цехе электростанции. При этом вибрация рядом находящихся работающих турбин не влияет на точность уравнивания (рис. 2).

Специальная конструкция роликового блока, представляющая собой двухосевой шарнир, позволяет роликам самоустанавливаться и обеспечивать постоянный линейный контакт между роликами и опорной поверхностью шейки ротора. Такая конструкция полностью исключает накатку шеек и позволяет осуществлять



Рис. 2. Балансировочный станок VM-90000 во время балансировки ротора генератора на электростанции

режим прогрева ротора на станке, требуемый для стабилизации состояния ротора при длительном хранении, а также не требует строгого горизонтирования ротора при его укладке на станок. Эта высокотехнологичная конструкция, является уникальной разработкой компании "ДИАМЕХ 2000", содержит целый ряд высокоточных элементов и обеспечивает высокую точность уравнивания (рис. 3).



Рис. 3. Балансировочный станок VM-3000

Станки всех моделей серии VM, начиная со станка модели VM-300, снабжены специальными укладчиками, позволяющими обеспечить плавную укладку ротора на станок. Укладчики надежно предохраняют опорную систему станка от перегрузок при ударах, ошибках крановщика и других нестандартных ситуациях (рис. 4). Балансировочный станок модели VM-8000 оснащён электрическими укладчиками, управляемыми дистанционно.

Основным видом привода на станках серии VM является ременный с регулируемым натяжением ремня. Этот вид привода делает станок универсальным и пригоден для большинства роторов различной конфигурации. В ряде случаев станок снабжён комбинированным карданно-ременным приводом, который применяется, например, при балансировке некоторых типов роторов газовых турбин, осевых вентиляторов с

большим моментом сопротивления вращению или отсутствием поверхностей для установки ремня. Однако следует отметить, что при использовании карданного привода возникает необходимость учитывать неуравновешенность самого карданного вала и переходных деталей от кардана к ротору.

Практика уравнивания авиационных газотурбинных двигателей показывает, что к балансировке каждого типа ротора нужен индивидуальный подход. Требуется тщательная проработка укладки ротора на станок, в ряде случаев возникает необходимость балансировки роторов в сборе с собственными подшипниками и даже в собственных корпусах. Все эти задачи оперативно решаются в конструкторском отделе предприятия "ДИАМЕХ 2000" и успешно реализуются на станках серии VM. Кроме этого, решаются вопросы, связанные с изготовлением и использованием специальной оснастки (рис. 5, 6).

Балансировочные станки серии VM заслуженно получили высокую оценку Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова и были рекомендованы институтом к широкому внедрению в отрасли.

Новое поколение балансировочных станков серии VM уже нашло применение на современных двигателестроительных заводах, таких как ОАО "ММП им. В.В. Чернышёва", ФГУП "Завод им. В.Я. Климova", ОАО "УМПО", ОАО "КМПО", ОАО "НПО "Сатурн", ФГУП "НПЦ газотурбостроения "Салют", а так же на ряде ремонтных предприятий: ОАО "Уральский завод гражданской авиации", ОАО "Арамилский авиационный ремонтный завод", ОАО "514 АРЗ" (г. Ржев) и др.

Говоря о конструкции балансировочного станка, обычно подразумевают два основных типа станков: дорезонансный тип станка с жёсткими опорами, на котором балансировка выполняется по динамическим реакциям в опорах (измеряются силы) и станок зарезонансного типа с податливыми опорами, на котором балансировку проводят измеряя непосредственно смещение главной центральной оси инерции относительно оси вращения ротора (измеряются перемещения).

Несмотря на единство конечной цели - уравнивание ротора, т.е. совмещение главной центральной оси инерции ротора с его осью вращения путём установки корректирующих грузов или снятия массы, станки двух типов имеют принципиальные различия в методиках балансировки.



Рис. 4. Балансировочный станок VM-8000



Рис. 5. Балансировочный станок VM-050 со специальной оснасткой



Рис. 6. Балансировочный станок VM-3000 со специальной оснасткой

Методика балансировки на жёстких станках предусматривает обязательную процедуру калибровки опор станка эталонным ротором для минимизации инструментальной погрешности станка, а балансировочные грузы вычисляются по геометрическим параметрам ротора. Это и обеспечивает простоту настройки станка перед балансировкой, но увеличивает методическую погрешность, обусловленную отличием эталонного ротора от реального объекта балансировки. В процессе эксплуатации происходят различные негативные процессы, которые приводят к изменению жёсткости опорных стоек, меняются параметры различных электронных компонентов. Поэтому производители станков с жёсткими опорами настоятельно рекомендуют приобретать вместе со станком средства калибровки - дорогостоящие эталонные роторы и хотя бы раз в год, а лучше перед каждой ответственной балансировкой выполнять поверку (аттестовывать) станки этими роторами, а для обеспечения точности выполнять калибровку.

На станке дорезонансного типа точность балансировки быстро растёт с увеличением частоты вращения ротора, но при этом станок выходит из рабочего диапазона, который ограничен массой ротора и жёсткостью опор станка, а для достижения приемлемой точности уравнивания на низких частотах враще-

ния станки должны быть установлены на специальные массивные виброизолированные фундаменты. Из-за особенностей конструкции приходится использовать ролики с бомбированной поверхностью, что приводит к накатке шеек из-за малого пятна контакта и высоких контактных напряжений.


Балансировочные станки резонансного типа лишены этих недостатков, процесс определения коэффициентов влияния (т.е. калибровка) происходит на каждом типе балансируемого ротора, или, при необходимости, на каждом балансируемом роторе. При этом отсутствует методическая и устраняется инструментальная погрешность, так как калибровка проводится непосредственно перед балансировкой. Калибровка несколько удлиняет процесс балансировки, что можно отнести к единственному "недостатку" данного метода балансировки, но повышает точность измерений.

На станке резонансного типа не требуется обязательная ежегодная поверка станка эталонным ротором. Проверка точности станка может быть выполнена в любой момент, по методике производителя, на любом уравновешенном роторе с хорошим качеством шеек. При необходимости, станок может быть поверен в соответствии с ГОСТ 20076-2007 (ISO 2953:1999).

Кроме этого собственная частота податливой опоры станка зависит только от длины маятниковой подвески и не зависит от массы балансируемого ротора, поэтому балансировка возможна в широком диапазоне балансируемых масс.

Точность балансировки в резонансной области определяется точностью измерения амплитуды колебаний опор, которая не зависит от частоты вращения балансируемого ротора. Частота вращения ротора может выбираться в широких пределах исходя только из технологических соображений.

Резюмируя, можно сказать следующее, балансировочные станки резонансного типа имеют ряд существенных преимуществ, а именно, возможность балансировки любых роторов с высокой точностью во всем заявленном частотном диапазоне, отсутствие накатки шеек, большой диапазон масс балансируемых изделий, отсутствие у станка специального фундамента, малые мощности привода, быстрый монтаж и ввод в эксплуатацию, отсутствие необходимости приобретения дорогих эталонных роторов.

В ближайшее время грядёт новая волна возрождения Российской гражданской авиации, чему имеются предпосылки в виде проекта создания нового самолета МС-21, ряде совместных Российско-Украинских проектов, что потребует и создания новых, перспективных, надёжных и высоко экономичных двигателей. Предприятие "ДИАМЕХ 2000" готово приложить все силы для обеспечения производства новых двигателей современной и надёжной балансировочной техникой. 

**ДИАМЕХ**<sup>2000</sup>  
Вибродиагностика и Балансировка

**Россия, 115432, г. Москва,  
2-й Кожуховский пр., д. 29, корп. 2, стр. 16.  
Тел.: +7 (495) 223-04-20.  
Факс: +7 (495) 223-04-90.  
diamech@diamech.ru www.diamech.ru**