БАЛАНСИРОВКА ВАЛОВ

Вал – деталь машин и механизмов, предназначенная для передачи крутящего момента вдоль его продольной оси. Наиболее часто встречаются валы в сборе с установленными на них рабочими колесами, шкивами, звездочками и др.

Как и любая другая механическая деталь, вал может быть неправильно установлен в подшипниковые опоры, иметь неоднородности в плотности материала, нарушения в геометрии изготовления и недостаточно точную посадку вращающихся вместе с ним деталей и др. В результате действия вышеназванных причин, во вращающемся валу появляются неуравновешенные массы, вызывающие низкочастотные вибрации вала. Эти вибрации могут быть настолько значительными, что могут привести к изгибу вала и полному разрушению подшипниковых узлов и других деталей машины. Вот почему так важно уравновесить влияние неуравновешенных масс проведением процедуры балансировки вала.

Ранее мы уже рассматривали виды неуравновешенности ротора и соответствующие им виды балансировки – статическую и динамическую. Было отмечено, что точность динамической балансировки на порядок выше точности статической балансировки, и что для роторов, чей диаметр значительно больше длины (шкивы, рабочие колеса, звездочки), можно ограничиться проведением только статической балансировки.

Применительно к случаю валов в сборе (например, вал с рабочим колесом) в большинстве случаев можно ограничиться статической балансировкой рабочего колеса и динамической балансировкой вала в сборе на станке и/или в собственных опорах. На самом же деле, идеально сбалансированный вал в сборе – это вал с отдельно отбалансированными деталями, затем отбалансированный в сборе на станке, и окончательно отбалансированный в собственных опорах.

Как показывает статистика компании «БАЛТЕХ» – признанного эксперта в области балансировки, – надлежащая балансировка валов вращающихся машин на 23%-100% увеличивает срок службы крыльчаток и рабочих колес, а также на 10%-25% повышает их полезную мощность.

Балансировку валов в собственных опорах необходимо доверить специалистам технического сервиса «БАЛТЕХ», вооруженным самым современным инструментарием балансировки – мобильными комплектами «ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470 и программы многоплоскостной балансировки BALTECH-Balance.

Главное же производственное направление компании «БАЛТЕХ» – производство современных дорезонансных станков горизонтального, вертикального и автоматического типа для роторов самых различных конфигураций, веса и габаритов. Рассмотрим более подробно возможности балансировочных станков «БАЛТЕХ» на примере вертикального балансировочного станка серии **BALTECH VBM-7200.**

Балансировочные станки серии BALTECH VBM-7200 предназначены для одноплоскостной или двухплоскостной балансировки валов и деталей (рабочих колес, шкивов, дисков и др.) без шеек вала. Применительно к нашему случаю балансировки валов, на данных станках также проводят балансировку режущего инструмента и патронов.

Процедура балансировки вала занимает всего несколько минут и включает в себя:

- Ввод геометрических параметров балансируемого вала;
- Запуск балансируемого вала во вращение и снятие автоматически рассчитанных данных по величине и углу установки корректирующей массы.
- Установку/снятие корректирующей массы.

Особо отметим, что высокая скорость и точность измерений достигается за счет использования программы BALTECH-Balance, стандартные функциональные возможности которой позволяют проводить многоплоскостную (до 4-х плоскостей) и многоточечную (до 16 точек) балансировку с приборами измерения амплитуды и фазы вибрации любых производителей.

Чтобы получить глубокие теоретические знания и профессионально овладеть навыками работы с балансировочными станками и приборами «БАЛТЕХ», рекомендуем вам записаться на ближайший Курс **ТОР-102 «Динамическая балансировка»** в Учебном центре компании БАЛТЕХ .

БАЛАНСИРОВКА ВЕНТИЛЯТОРОВ

Чистый воздух в производственном помещении – залог здоровья и высокой производительности рабочего персонала. Вот почему все производства, связанные с выработкой пыли, дымов, вредных паров или газов, обязательно оборудуются системами вентиляции, призванными эффективно удалять все вредные вещества и обеспечивать постоянный приток свежего воздуха.

Циркуляция воздуха в системах вентиляции обеспечивается вентиляторами, а точнее, – вращением рабочих колес вентиляторов. Говоря о балансировке вентиляторов, мы понимаем именно балансировку рабочих колес.

Каждый вентилятор проходит заводскую балансировку, но в процессе эксплуатации балансировка вентилятора может быть нарушена под воздействием целого ряда причин:

- абразивного износа лопаток под воздействием инородных частиц;
- налипания инородных частиц на лопатки;
- изменения геометрии рабочего колеса под воздействием нагрузок и экстремальных температур;
- нарушения посадки рабочего колеса на вал и др.

Нарушение балансировки вентилятора проявляется падением производительности, усиленным шумом и низкочастотными вибрациями, оказывающими разрушительное действие на подшипники, уплотнения, привода, фундамент и др. Вот почему так важно контролировать уровень вибрации на рабочей частоте вращения колеса и при необходимости сразу же проводить его балансировку.

Балансировку крыльчатки вентиляторов проводят в одной или двух плоскостях, в зависимости от типа рабочего колеса: для осевых вентиляторов достаточна одноплоскостная балансировка, а балансировку радиальных вентиляторов уже необходимо проводить в двух плоскостях коррекции.

Балансировку вентиляторов можно проводить как в собственных опорах, так и на специальных балансировочных станках. Рассмотрим оба варианта на примере балансировочных приборов и станков «БАЛТЕХ» – лучших в своем сегменте отечественного рынка.

Балансировку в собственных опорах проводят с помощью портативных приборов BALTECH VP-3470 или «ПРОТОН-Баланс-II», принцип действия которых основан на определении величины и места установки корректирующих масс через измерения амплитуд и фаз вибрации в начальном состоянии и после установки пробной массы. Этапы балансировки прибором BALTECH VP-3470:

- Запуск вентилятора и измерение начального уровня вибрации.
- Установка пробной массы и измерение уровня вибрации с пробной массой.
- Расчет величины и угла установки корректирующей массы. Данная процедура проводится в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения прибора.
- Установка (болтовое соединение, сварка) /удаление (высверливание или фрезерование) корректирующей массы.
- Контрольное измерение
- Документирование результатов балансировки с помощью программы BALTECH-Expert.

Если ремонт вентилятора предусматривает демонтаж рабочего колеса, то его балансировку проводят на одном из дорезонансных станков «БАЛТЕХ»: **вертикальном** одноплоскостном серии BALTECH VBM-7200 или на станке специального исполнения серии BALTECH SBM-7400. Станки серии BALTECH VBM-7200 рассмотрены в статье «Балансировка валов», поэтому здесь ознакомимся с главными характеристиками и функциональными возможностями станков серии BALTECH SBM-7400.

Станки серии SBM-7400 (Special Balancing Machine) специально разработаны для балансировки рабочих колес вентиляторов всех типов (массой до 16 кг) и полностью отвечают всем современным требованиям динамической балансировки. Каждый станок серии SBM-7400 включает:

- станину с ременным приводом, предназначенным для вращения шпинделя вдоль горизонтальной оси;
- промышленную стойку с измерительной компьютерной системой (промышленная стойка);
- комплект измерительных вибродатчиков;
- датчик оборотов шпинделя;
- частотный преобразователь для плавной регулировки частоты вращения;

- весы для точного подбора корректирующих масс;
- CD с программой BALTECH SW-07 и аксессуары по стандарту BALTECH

Процедура измерений на станке BALTECH SBM-7400 очень проста, проводится силами только одного оператора и занимает всего несколько минут. Достигаемая при этом точность балансировки (остаточный удельный дисбаланс) составляет не более 4 г*мм/кг.

Несмотря на то, что мобильные приборы и станки «БАЛТЕХ» очень просты в работе, рекомендуется прохождение курса **ТОР-102 «Динамическая балансировка»** в Учебном центре компании БАЛТЕХ, по окончании которого выдается сертификат, дающий право на проведение балансировочных работ.

БАЛАНСИРОВКА ВИДЕО

Очевидно, что учебники по балансировке и тематические статьи не имеют альтернативы для полного понимания теории и методов балансировки. Снабженные подробным описанием, рисунками и схемами, они дают нам полное представление об устройстве станков и приборов для балансировки и процедуре проведения балансировочных работ.

Вплоть до появления интернета каждый из нас мог пользоваться только бумажными источниками информации, и очень редко – учебными фильмами.

Но сегодня, благодаря интернету, у нас есть возможность получить начальное представление о чем угодно – достаточно лишь набрать в поисковике ключевые слова и добавить слово «видео». Это в полной мере относится и к балансировке. Наберите «балансировка видео» и перед вами откроется целый список видеороликов, выложенных в интернет различными пользователями и посвященные различным аспектам балансировки. Тут и видео балансировки различных типов роторов, учебные фильмы по теории балансировки, видео станков и приборов различных производителей – одним словом, каждый всегда найдет для себя нужное видео балансировки.

Что касается компании «БАЛТЕХ» – признанного эксперта в надежности роторного оборудования и лучшего отечественного производителя **станков** и **мобильных приборов для балансировки**, то видеоролики «БАЛТЕХ» наглядно иллюстрируют устройство и комплектацию этих продуктов, и процедуру проведения измерений. Даже новичку становится многое понятно после просмотра этих роликов, и остается лишь углубить свои знания чтением текстовой информации.

Видео BALTECH:

- Горизонтальный станок для балансировки роторов серии BALTECH HBM
- Балансировочные станки для уравновешивания роторов
- Балансировочный станок BALTECH HBM-7105
- Виброметр балансировщик «ПРОТОН-Баланс-II»
- Виброанализатор для вибродиагностики и балансировки

Если вы пользуетесь балансировочными продуктами «БАЛТЕХ», то выложите свое видео балансировки – оно будет интересно и полезно всем, кто связан с балансировкой роторов.

Для обучения работе на станках и приборах компании «БАЛТЕХ», рекомендуется прохождение курса **ТОР-102 «Динамическая балансировка»** в Учебном центре компании «БАЛТЕХ».

БАЛАНСИРОВКА ВИНТА

Воздушный винт – движитель летательного аппарата, с помощью которого крутящий момент двигателя преобразуется в тягу. Винт представляет собой лопастной агрегат с 3-4-мя (и более) равноудаленными друг от друга лопастями, установленными в плоскости, перпендикулярной оси вращения винта.

С точки зрения теории балансировки воздушный винт ничем не отличается от обычной крыльчатки вентилятора, не считая значительно более жестких требований к качеству балансировки.

Воздушный винт – разновидность ротора, с диаметром значительно превышающим его длину, и к нему применимы стандартные методы статической и динамической балансировки. Ранее мы говорили, что для роторов такой конфигурации можно ограничиться проведением только статической балансировки, пренебрегая устранением моментного и динамического дисбаланса. Но из соображений обеспечения 100% безопасности полета, в случае с винтом данное допущение «не работает» и обязательна динамическая балансировка винтов.

В идеальном варианте балансировка винтов должна включать следующие этапы:

- Этап 1– Статическую балансировку каждой лопасти винта.
- Этап 2 –Статическую балансировку винта в сборе.
- Этап 3 –Динамическую балансировку винта на балансировочном станке.
- Этап 4 –Динамическую балансировку винта в собственных опорах.

Учитывая габариты винта (порядка 4-х метров) и высокие требования к точности балансировки, компания «БАЛТЕХ» производит станки для балансировки винтов горизонтального или вертикального исполнения только по заказу в соответствии с ТЗ. В целях обеспечения безопасности проведения балансировочных работ опционально может быть изготовлена защитная капсула станка.

Динамическая балансировка винта по месту установки проводится с помощью переносных приборов **«ПРОТОН-Баланс-II»** и BALTECH VP-3470 по классической схеме одноплоскостной балансировки с пробным грузом. В случае несовпадения угла установки корректирующего груза с существующим положением лопастей, обеспечивается его разводка эквивалентными грузами.

Для обучения работе на станках и приборах компании «БАЛТЕХ», рекомендуется прохождение курса **ТОР-102 «Динамическая балансировка»** в Учебном центре компании «БАЛТЕХ» .

БАЛАНСИРОВКА ДЕТАЛЕЙ

Балансировка деталей – обязательная процедура, направленная на устранение неуравновешенных масс. Причем это касается как новых деталей – перед установкой в динамическую машину, так и бывших в эксплуатации – при ремонте машины.

Идеальная вращающаяся деталь динамически уравновешена, т.е. ее одна из главных осей инерции совпадает с осью вращения. На практике данное условие может быть нарушено по целому ряду причин:

- неточностью изготовления детали;
- неоднородной плотности материала детали;
- недостаточно точной посадкой в подшипниковые опоры;
- естественного неравномерного износа;
- налипания инородных частиц;
- появления сколов, деформирования детали и др.

За счет действия этих причин в детали наблюдаются неуравновешенные массы, которые при вращении вызывают появление неуравновешенных сил и моментов сил инерции. Данные силы и моменты сил, вращаясь вместе с деталью, вызывают вибрации, которые, в свою очередь, оказывают разрушительное действие на опоры и машину в целом.

Различают статическую, моментную и динамическую неуравновешенность детали (см. статью «Балансировка»), и задачей балансировки деталей является уменьшение до допустимых значений:

- главного вектора дисбалансов – при статической балансировке;
- главного момента дисбалансов и главного вектора дисбалансов – при динамической балансировке.

Для деталей с диаметром, значительно превышающим ее длину, статическая неуравновешенность, на порядок больше динамической. В случаях, когда можно пренебречь моментной и динамической неуравновешенностью, ограничиваются проведением только статической балансировки, если нет – обязательно проводят динамическую балансировку детали.

Для деталей с длиной, значительно превышающей ее диаметр, наоборот, существенна динамическая неуравновешенность, и в данном случае опять же, проводят динамическую балансировку детали.

Точность статической балансировки недостаточно велика и сегодня ее проводят только в случаях, не особо требовательных к точности балансировки. Точность же динамической балансировки на порядок выше, к тому же, с появлением современных балансировочных станков и приборов, процедура динамической балансировки стала исключительно проста, максимально автоматизирована и проводится в считанные минуты. Вот почему, говоря о современной балансировке деталей, мы подразумеваем ее проведение именно с помощью методов динамической балансировки. Выбор того или иного метода динамической балансировки деталей определяется типом ротора: для жестких – согласно ГОСТ ИСО 1940-1, гибких – согласно ГОСТ 31320.

Рекомендуемые классы точности балансировки для жестких деталей (роторов) приведены в табл.1:

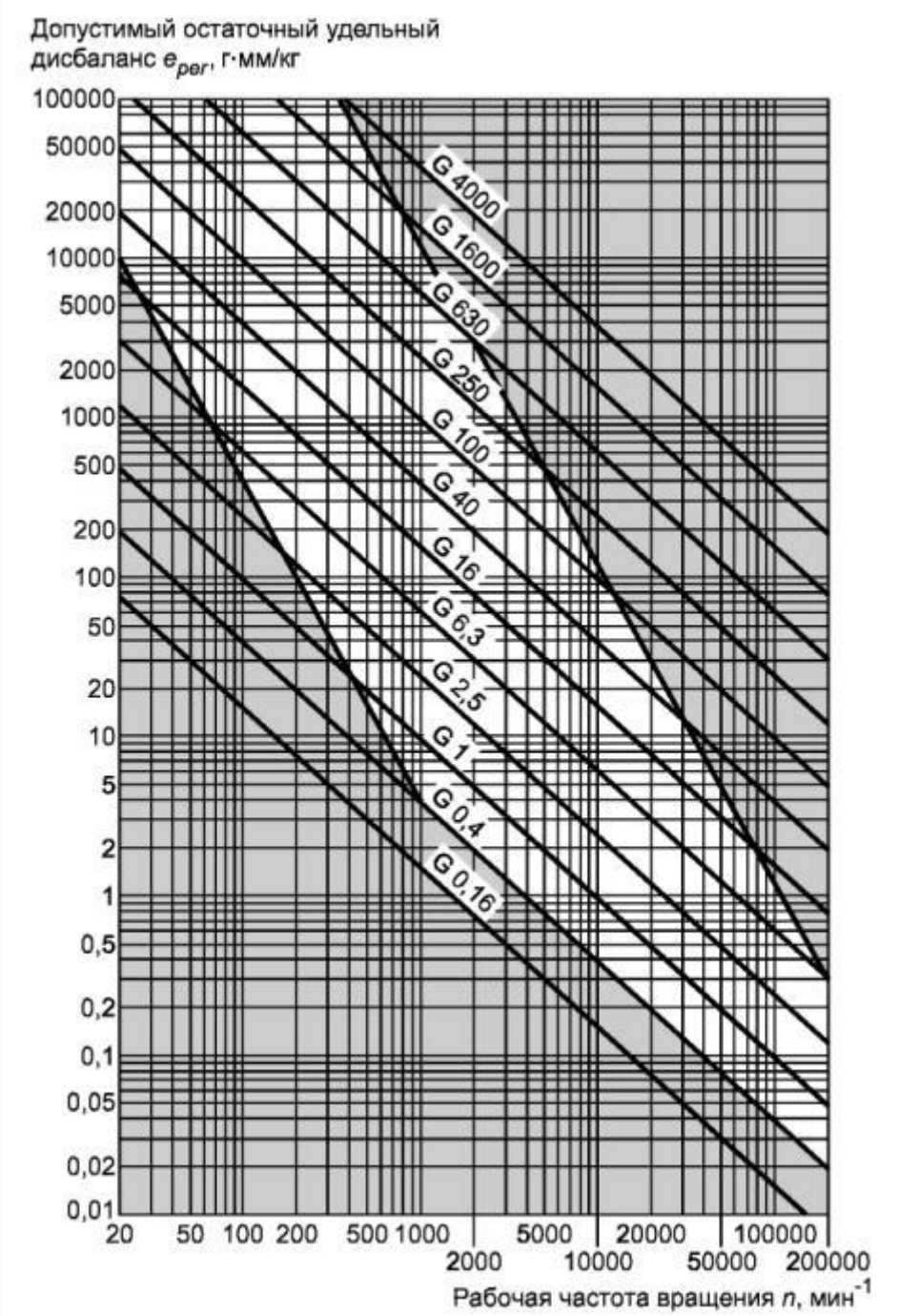


Таблица 1

Балансировка деталей проводится на балансировочных станках или в собственных опорах. По пространственному положению оси вращения станки подразделяются на горизонтальные и вертикальные, а по скорости вращения – на дорезонансные, резонансные и зарезонансные.

В силу целого ряда причин наибольшим спросом у потребителей пользуются дорезонансные станки горизонтального или вертикального исполнения. К примеру, дорезонансные станки позволяют балансировать детали с большим начальным дисбалансом, не требуют дополнительных оправок для удержания балансируемой детали, не нуждаются в калибровки после проведения каждой процедуры балансировки. К тому же, за счет применения жестких опор, дорезонансные станки существенно дешевле зарезонансных станков с мягкими опорами.

Компания БАЛТЕХ производит широкую линейку дорезонансных и зарезонансных балансировочных станков в соответствии с межгосударственным стандартом Гост 20076-2007 (ИСО: 2953-1999). Горизонтальные (серия HBM), вертикальные (серия VBM), автоматические (серия ABM) , специальные (серия SBM) станки «БАЛТЕХ» включают более 50 моделей для деталей массой от 0,1кг до 110 тонн, т.е. охватывают практически

весь спектр роторных машин. Достигаемая при этом точность измерений (минимальный удельный остаточный дисбаланс) составляет 0.5 г*мм/кг.

Для балансировки деталей в собственных опорах в компании «БАЛТЕХ» разработаны двухканальные переносные комплекты «ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470, предназначенные для одно- или двухплоскостной балансировки по месту установки деталей.

Для обучения работе на станках и приборах компании «БАЛТЕХ», рекомендуется прохождение курса **TOP-102 «Динамическая балансировка»** в Учебном центре компании БАЛТЕХ .

БАЛАНСИРОВКА ДИСКОВ

Любой диск рассматривается в теории балансировки как разновидность ротора, с диаметром, значительно превышающим его длину. Для роторов такой конфигурации существенна статическая неуравновешенность, а моментной и динамической неуравновешенностью, во многих случаях, можно пренебречь. Т.е. балансировку дисков можно проводить методами статической балансировки, что и делали до появления точных и чувствительных измерительных вибродатчиков для динамической балансировки.

Мы уже отмечали, что точность статической балансировки (удельный остаточный дисбаланс) составляет 5-30 мкм, что уже не соответствует современным требованиям балансировки динамического оборудования. К тому же методы статической балансировки дисков достаточно длительны и трудоемки и не лишены влияния человеческого фактора. По этим причинам сегодня балансировку дисков и других «плоских» роторов проводят методами динамической балансировки, принцип действия которых основан на прямой зависимости между величиной вибраций и вызывающим их дисбалансом ротора.

Балансировку дисков можно проводить в собственных опорах с помощью приборов «ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470, или же на балансировочных станках «БАЛТЕХ».

Рассмотрим устройство и функциональные возможности балансировочных станков «БАЛТЕХ» на примере автоматического станка серии **BALTECH ABM-7300**, специально разработанного для балансировки тормозных дисков.

Станок серии BALTECH ABM-7300 может быть интегрирован в производственную линию и предназначен для балансировки дисков массой до 35 кг и диаметром до 400 мм.

Как и любой станок вертикального типа, станок BALTECH ABM-7300 имеет:

- станину с приводом шпинделя;
- вертикально вращающийся шпиндель, предназначенный для установки и приведение во вращение балансируемого диска;
- измерительный датчик;
- промышленную стойку с вычислительным блоком (программа BALTECH-Balance) и дисплеем;
- фрезерное устройство для удаления избыточных масс.

Процедура балансировки дисков на станке BALTECH ABM-7300 проводится в одной плоскости, занимает всего несколько минут и включает следующие этапы:

- ввод размеров балансируемого диска;
- запуск привода станка и автоматическое определение величины и угла установки/снятия уравновешиваемой массы;
- установка/снятие (фрезерование) уравновешиваемой массы.

Среди главных преимуществ станка серии BALTECH ABM-7300 – его комплектация фрезерным устройством, которое позволяет быстро и точно снять избыточную массу. Также отметим быстроту перенастройки станка на

другие типы деталей. Точность балансировки (минимальный остаточный дисбаланс) на станке BALTECH ABM-7300 составляет 5 г*мм/кг, что соответствует классу G 6.3.

Работа на станке проводится силами всего одного оператора, для подготовки которого достаточно прохождения **Курса ТОР-102 «Динамическая балансировка»** в Учебном центре компании «БАЛТЕХ».

БАЛАНСИРОВКА КАРДАННОГО ВАЛА

Кардан – разновидность ротора, с помощью которого передается вращательный момент от двигателя (через коробку передач) к задним ведущим колесам автомобиля. Балансировка карданного вала – обязательная процедура, обеспечивающая штатную работу трансмиссии, комфортность и безопасность движения.

Как и в любом другом роторе, в кардане могут наблюдаться неуравновешенные массы, являющиеся источником переменных вибраций. Данные вибрации приводят к преждевременному износу деталей трансмиссии, существенному ухудшению комфортности движения и даже могут стать причиной возникновения аварийных ситуаций.

Неуравновешенные массы в кардане могут появиться по целому ряду причин:

- несоблюдению допусков при изготовлении деталей кардана;
- некачественной заводской центровке;
- несоблюдению зазоров при сборке кардана;
- деформации валов за счет неправильной термообработки или ударов при эксплуатации.

Балансировку кардана можно провести своими руками, но лучше доверить эту ответственную операцию специалистам отдела технического сервиса компании «БАЛТЕХ», которые быстро и качественно проведут балансировку кардана на станке для балансировки карданных валов серии BALTECH SBM-7300. Станки данной серии специально разработаны для динамической балансировки карданных валов: весом – от 0,5 до 30 кг; диаметром – до Ø 130 мм; длиной – до 2 м.

Станки серии BALTECH SBM-7300 относятся к дорезонансному типу и полностью отвечают всем современным требованиям по точности измерений, функциональности и безопасности. В комплект поставки станка входит программа-калькулятор BALTECH-Balance, с помощью которой можно проводить многоплоскостную (до 4-х плоскостей) и многоточечную (до 16 точек) балансировку кардана и других типов роторов.

Перед установкой кардана на балансировочный станок карданных валов необходимо удостовериться в отсутствии критического износа шлицов или посадочных мест под них. При их наличии необходимо заменить изношенные детали, а затем уже переходить к балансировке кардана. Сама же процедура балансировки кардана на станках BALTECH SBM-7300 состоит из следующих основных этапов:

- установки кардана в сборе на станок и приведение его во вращение до необходимой скорости;
- проведение измерений с помощью вибродатчиков и определение величины корректирующих масс и угла их установки/удаления;
- установка/удаление корректирующих масс и проведение контрольных измерений.

Минимально достижимый остаточный дисбаланс на станках серии BALTECH SBM-7300 составляет 0,5 г*мм/кг.

Если по роду вашей деятельности вам часто необходимо проводить балансировку карданов, роторов или других вращающихся деталей, а средств на приобретение станка BALTECH SBM или **BALTECH HBM** недостаточно, то можно создать его аналог, самостоятельно изготовив опоры с приводом, а в качестве измерительного блока использовать балансировочный комплект BALTECH VP-3470. Профессионально обучиться работе на балансировочных станках и мобильных приборах-балансировщиках «БАЛТЕХ» можно на курсах:

- **ТОР-102 «Динамическая балансировка в собственных опорах»**
- **ТОР-103 «Основы вибрационной диагностики»**

в Учебном центре компании «БАЛТЕХ».

БАЛАНСИРОВКА КОЛЕНВАЛА

Идеально сконструированный коленчатый вал является уравновешенным, т. е. ось его вращения совпадает с главной осью инерции. На самом же деле не существует идеальных коленчатых валов и любом из них, в большей или меньшей мере, имеется дисбаланс, вызывающий вибрации при вращении вала. Причины возникновения дисбаланса могут быть самыми разными, главные среди них:

- несоблюдение допусков при изготовлении деталей;
- несоблюдение зазоров между сопрягаемыми деталями при сборке;
- деформация вала за счет неправильной термообработки или в ходе эксплуатации;
- неоднородная плотность материала за счет дефектов литья;
- недостаточная центровка сопряженных деталей;
- естественный износ.

Центробежные силы, пропорциональные дисбалансу и квадрату скорости вращения, вращаются вместе с коленвалом и оказывают разрушительное влияние на его опоры. К примеру, для коленчатого вала автомобиля весом в 20 кг, вращающегося со скоростью 6000 об/мин и имеющего эксцентриситет всего в 0,1 мм, эта сила составит 7700 Н, т.е., почти в 40 раз (!!) превысит собственную массу коленчатого вала. И здесь мы еще не учитываем дополнительное действие момента сил, который не только дополнительно разрушает опоры, но и может вызвать изгибные деформации вала. И для полноты картины добавим, что дисбаланс коленвала приводит к повышенному расходу топлива, падению мощности, и, через низкочастотные вибрации, наносит вред здоровью человека.

Дисбаланс коленвала устраняется проведением процедуры балансировки коленвала на специальных **балансировочных станках**. При балансировке коленвала определяются величины и углы неуравновешенных масс в выбранных корректирующих плоскостях, а затем проводится их уравновешивание с помощью закрепления на валу корректирующих масс, или же высверливанием «тяжелых» участков вала. Как показывает практика, правильная балансировка коленвала позволяет на 10% увеличить КПД двигателя и на 25–40% увеличить его ресурс.

Компания «БАЛТЕХ» является ведущим российским производителем балансировочных станков для роторов различных конфигураций, габаритов, жесткости и веса. В частности, для балансировки коленвалов весом до 30 кг рекомендуем использовать горизонтальный дорезонансный балансировочный станок BALTECH SBM-7300.

Станки серии BALTECH SBM-7300 относятся к дорезонансному типу и полностью отвечают всем современным требованиям по точности измерений, функциональности и безопасности. Процедура балансировки коленчатых валов на станках BALTECH SBM-7300 состоит из следующих основных этапов:

- установки коленвала на станок и приведение его во вращение до необходимой скорости;
- проведение измерений с помощью вибродатчиков и определение величины корректирующих масс и угла их установки/удаления;
- установка/удаление корректирующих масс и проведение контрольных измерений.

Минимально достижимый остаточный дисбаланс на станках серии BALTECH SBM-7300 составляет 0,5 г*мм/кг.

В заключение отметим, что для получения наиболее точных результатов балансировки коленвала, необходимо отдельно отбалансировать маховик, коленвал и корзину, на втором этапе провести балансировку системы «вал+маховик», а затем – окончательную балансировку всего коленвала в сборе («маховик+ коленвал+ корзина»).

Для обучения работе на станках и приборах BALTECH рекомендуется прохождение курса **TOP-102 «Динамическая балансировка кругов»**, который регулярно проводится в Учебном центре компании БАЛТЕХ.

БАЛАНСИРОВКА КРУГА

Силы инерции и моменты сил инерции, возникающие в результате неуравновешенности ротора, прямо пропорциональны величине неуравновешенных масс и квадрату угловой скорости вращения. Иными словами, даже самый незначительный дисбаланс ротора может вызвать весьма значительные силы и моменты сил при больших скоростях вращения ротора.

Данная зависимость в полной мере относится к шлифовальным кругам, вращающимся с большими угловыми скоростями. Дисбаланс круга вызывает вибрации, которые приводят к преждевременному износу подшипников шпинделя, ухудшению качество шлифовки, увеличенному расходу абразива. Отсюда следует, что необходимо проводить балансировку круга, добиваясь уменьшения его дисбаланса до допустимых значений.

Неуравновешенные массы в круге могут возникнуть по целому ряду причин:

- неоднородной плотности абразива;
- несовершенства геометрической формы круга;
- эксцентричного расположения отверстия круга;
- погрешностью установки круга в шпиндель и др.

При этом может наблюдаться статическая, моментная и динамическая неуравновешенность круга. Ранее мы уже отмечали, что для роторов с диаметром, значительно превышающим его длину, – а именно к такому типу роторов относится шлифовальный круг, – существенную роль играет статический дисбаланс, а моментным и динамическим можно пренебречь. Поэтому, в случае с невысокими требованиями к классу точности, можно ограничиться проведением только статической балансировкой круга (см. статью «Статическая балансировка»). Если же необходима высокая точность балансировки, включающая также и уменьшение моментного и динамического дисбаланс круга, то необходимо проводить динамическую балансировку шлифовальных кругов на вертикальном балансировочном станке **BALTECH VBM-7200**.

Предельные значения дисбаланса для абразивных кругов регламентируются ГОСТом 3060-55 в зависимости от высоты круга, его наружного диаметра и класса точности изготовления круга. Чем меньше класс точности круга и меньше его высота, тем больше допускается единиц дисбаланса.

Станки серии BALTECH VBM-7200 специально разработаны для плоских роторов (круги, рабочие колеса, шкивы, фланцы и пр.) весом до 16 кг, не имеющих собственных шеек вала.

Балансировка круга на станке BALTECH VBM-7200 проводится в одной плоскости, без установки пробной массы. В программу станка BALTECH SW-07 заносятся геометрические параметры круга, затем приводят круг во вращение и снимают данные по величине и углу установки/снятия корректирующей массы, далее устанавливают/снимают корректирующую массу и на последнем этапе проводят контрольный пуск.

Отбалансированный круг правят на шлифовальном станке, придавая ему правильную геометрическую форму. После правки круга его вновь балансируют и лишь затем запускают в работу. Процедуру балансировки круга повторяют через каждые 50-60 мм уменьшения его диаметра.

В связи с тем, что условия балансировки на станке BALTECH VBM-7200 могут отличаться от реальных условий эксплуатации, рекомендуется проводить финишную балансировку круга в собственных опорах с помощью приборов «ПРОТОН-Баланс-II» или BALTECH VP-3470.

Для обучения работе на станках и приборах BALTECH рекомендуется прохождение курса **TOP-102 «Динамическая балансировка кругов»**, который регулярно проводится в Учебном центре компании БАЛТЕХ.

БАЛАНСИРОВКА КУПИТЬ

Набирая в Яндексе или Гугле, пусть сформулировав не совсем технически грамотно, поисковый запрос «балансировка купить», вы получите в выдаче перечень интернет-ресурсов, реализующих те или иные устройства для балансировки. На первой странице выдачи вам сразу же бросится в глаза рекламное предложение от компании «БАЛТЕХ» – ведущего российского производителя станков и приборов для балансировки. «Новинки! Приборы, станки для балансировки. Балансировка с выездом на месте» – чем не повод заглянуть на наш сайт и более детально ознакомиться с перечнем выпускаемой продукции компании.

Компания «БАЛТЕХ» является признанным экспертом в области надежности динамического (роторного) оборудования и производит широкую линейку балансировочных станков дорезонансного типа горизонтального (BALTECH HBM), вертикального (BALTECH VBM), специального (BALTECH SBM) и автоматического (BALTECH ABM) исполнения, а также серию мобильных приборов-балансировщиков для балансировки в собственных опорах: «ПРОТОН-Баланс-II», BALTECH VP-3470 и комплект на базе виброанализатора CSI 2140.

Линейка балансировочных станков «БАЛТЕХ» включает более 50 моделей, охватывающих широкий диапазон диаметров и масс роторов, начиная от миниатюрных роторов в несколько грамм и заканчивая роторами весом в десятки тонн и метровых диаметров. В компании «БАЛТЕХ» вы всегда можете купить балансировку (станок), максимально соответствующий вашим требованиям.

Более полная общая информация по станкам «БАЛТЕХ» приведена на странице «Станок для балансировки», здесь же рассмотрим оснащение и функциональность станков «БАЛТЕХ» на примере специального балансировочного станка серии BALTECH SBM 7400 для балансировки вентиляторов.

Станок BALTECH SBM 7400 обеспечивает точную балансировку рабочих колес вентиляторов проведением одно- или двухплоскостной балансировки, в зависимости от типа рабочего колеса. Процедура балансировки включает следующие этапы:

- Установку рабочего колеса (с помощью специальных оправок) на конусный шпиндель с горизонтальной осью вращения.
- Запуск привода и проведение измерений с помощью датчиков виброскорости и пьезоакселерометров. При этом скорость вращения шпинделя контролируется с помощью оптического энкодера.
- Определение массы и углов установки корректирующих грузов с помощью системного компьютерного блока, в котором программой **BALTECH-Balance** производятся необходимые вычисления и результаты вычислений (массы и углы установки корректирующих грузов) выводятся на сенсорный дисплей.
- Приваривание электросваркой корректирующих грузов с помощью оптического индикатора места установки.

(Более подробная информация по станку приведена здесь)

Помимо станков, в компании «БАЛТЕХ» вы можете купить балансировку (мобильные приборы) для балансировки в собственных опорах: «ПРОТОН-Баланс-II», BALTECH VP-3470, комплект на базе виброанализатора CSI 2140. С их помощью вы быстро и точно отбалансируете роторы динамического оборудования прямо на рабочем месте.

Покупка станков или приборов «БАЛТЕХ» – лишь часть большого дела. Чтобы в полной мере реализовать их функциональные возможности, обеспечить быстрое качественное и безопасное проведение работ, техническим специалистам вашей компании рекомендуется прохождение **Курса ТОР-102 «Динамическая балансировка»**, регулярно проводимого в Учебном центре компании «БАЛТЕХ».

БАЛАНСИРОВКА ЛУЧШИЕ ПРИБОРЫ

Вам необходима балансировка? Лучшие предложения по динамической балансировке – это предложения от компании «БАЛТЕХ»:

- Переносные приборы «ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470
- Горизонтальные, вертикальные, автоматические, специальные балансировочные станки BALTECH
- Активные интеллектуальные балансировочные кольца
- Программы для балансировки BALTECH-Balance и «БАЛАНС-МАСТЕР»
- Обучение балансировке на **Курсе ТОР-102 «Динамическая балансировка»**
- Выездная балансировка специалистов Сервисного центра «БАЛТЕХ»

Как можно видеть, компания «БАЛТЕХ», являясь признанным экспертом в области надежности роторных машин, охватывает весь спектр оборудования и услуг, связанных с динамической балансировкой.

Лучшие решения от компании «БАЛТЕХ»:

- Переносные приборы «ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470 позволяют быстро и точно произвести балансировку в собственных опорах всего за несколько шагов:

1. Измерение начального уровня вибрации

2. Установка пробной массы и измерение уровня вибрации с пробной массой

4. Автоматический расчет программой угла и массы балансировочного груза

5. Установка (выборка, высверливание) балансировочного груза

6. Контрольное измерение и документирование

- У вас новый ротор или ротор после ремонта и необходима их динамическая балансировка? Лучшие горизонтальные станки **BALTECH HBM** дорезонансного типа обеспечат максимально точную и безопасную 2-х плоскостную балансировку роторов весом до 95 тонн. При этом процедура балансировки проводится в два пуска и занимает всего несколько минут.
- С компанией «БАЛТЕХ» возможна и автоматическая балансировка – лучшие интеллектуальные кольца BALTECH без участия оператора автоматически скомпенсируют дисбаланс ротора при превышении им минимально допустимого значения.
- Процедура определения корректирующих масс при многоплоскостной и многоточечной балансировке требует мощного программного обеспечения. Программа «БАЛАНС-МАСТЕР» не имеет ограничений по количеству плоскостей, совместима с датчиками вибрации любых производителей и в автоматическом режиме выдает значения и углы установки уравновешиваемых масс.
- ТОР-102 «Динамическая балансировка »– лучшие курсы для повышения теоретических знаний и овладения навыками работы на станках и приборах BALTECH.
- Необходима выездная балансировка? Лучшие специалисты сервисного центра компании «БАЛТЕХ» решат все ваши проблемы с балансировкой и виброналадкой вашего роторного оборудования.

БАЛАНСИРОВКА МЕХАНИЗМОВ

При оценке технического состояния роторного механизма в первую очередь определяют динамическую сбалансированность ротора на рабочих частотах или в диапазоне рабочих частот. Связано это с тем, что низкочастотные вибрации, обусловленные дисбалансом, являются самыми опасными для прочности подшипниковых опор и других конструктивных элементов механизма.

Балансировку механизмов по месту их установки проводят с помощью приборов для балансировки «ПРОТОН-Баланс-II» или BALTECH VP-3470. Принцип действия этих приборов основан на измерении амплитуды и фазы вибрации в выбранных точках контроля на рабочей частоте вращения ротора механизма. Процедура балансировки механизма включает следующие этапы:

- Подготовительные работы, связанные с установкой датчиков вибрации и тахометра (для контроля частоты оборотов).
- Ввод в программу геометрических параметров ротора, запуск ротора и измерение исходного уровня вибрации на рабочей частоте вращения ротора.
- Установка пробного груза, рассчитываемого по формуле:

где: **P** - вес ротора, **кг**; **A** - уровень вибрации в точке, выбранной для балансировки, **мм/с**; **R** - радиус, на котором будут устанавливаться груза в балансировочной плоскости, **см**; **N** - обороты ротора, **об/мин**.

- Измерение уровня вибрации с пробным грузом и получение результатов по величине и углу установки уравновешиваемой массы.
- Установка уравновешиваемой массы.
- Проведение контрольного пуска.

Рассмотренная процедура балансировки механизма относится к одной плоскости коррекции, а в случае многоплоскостной балансировки механизма выбирают один из двух алгоритмов действий:

- **Алгоритм №1**: уравновешивают ротор в первой плоскости и переходят ко второй, считая исходным состояние с закрепленным грузом в первой плоскости. Далее переходят к третьей плоскости, считая исходным состояние с грузом во второй плоскости. Процедуру повторяют до тех пор, пока не будет достигнут приемлемый уровень вибрации.
- **Алгоритм №2**: последовательно проводят пуски с пробными массами в каждой плоскости, а затем за один раз рассчитывается система уравновешиваемых масс сразу для всех плоскостей.

Все изложенное выше, по умолчанию, относится к механизмам, роторы которых вращаются на одной рабочей скорости и балансировка механизмов проводится именно на этой скорости. А как проводить балансировку механизма с несколькими рабочими скоростями вращения? Здесь нужно понимать, что балансировкой на одних оборотах невозможно оптимально снизить уровни вибрации во всем диапазоне рабочих частот механизма, поэтому при выборе оборотов для балансировки необходимо руководствоваться правилами, приведенными **здесь.**

Со всеми тонкостями балансировки механизмов вы можете ознакомиться на курсе **ТОР-102 «Динамическая балансировка механизмов»** в Учебном центре «БАЛТЕХ».

БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ

Повышенные вибрации роторного оборудования являются одной из главных причин преждевременного износа его деталей и узлов, и как следствие – аварийных остановов и внеплановых ремонтов. Как показывает статистика, в 40% случаев повышенные вибрации обусловлены наличием дисбалансов ротора, которые устраняются только статическими и динамическими методами балансировки ротора.

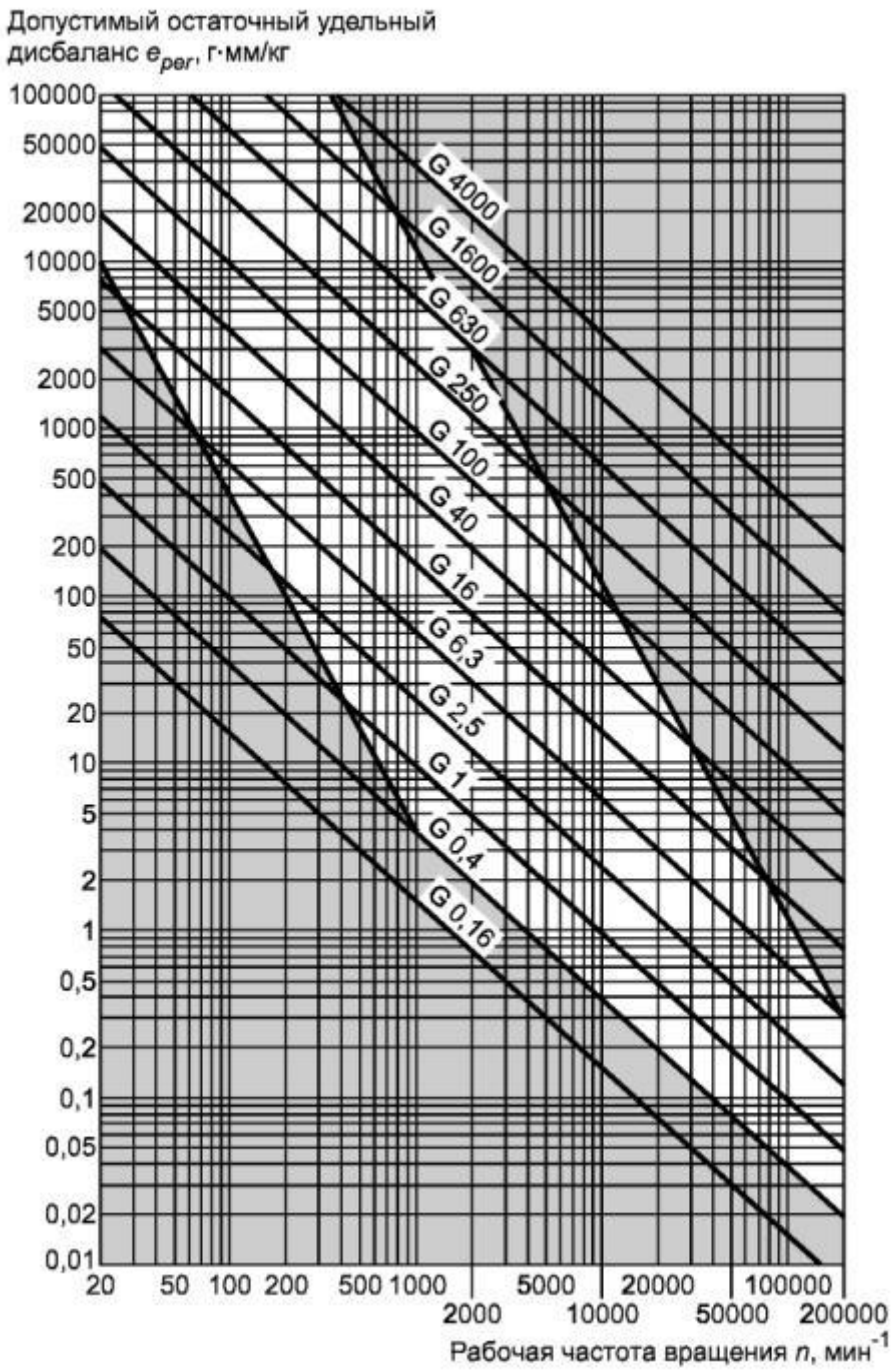
Методы статической балансировки, помимо того, что позволяют устранить только статическую неуравновешенность ротора, к тому же не удовлетворяют и современным требования по точности – вот почему, в подавляющем большинстве случаев сегодня уравновешивают ротор с помощью динамической балансировки на станках или в собственных опорах на рабочих частотах вращения ротора.

Неуравновешенные массы, вызывающие дисбаланс ротора, могут быть вызваны целым рядом причин:

- неоднородной плотностью материала ротора;
- недостаточно точным изготовлением и сборкой ротора;
- неточностью посадки ротора в подшипниковые опоры;
- эксплуатационным износом деталей, появлением сколов и налипанием инородных частиц;
- негативным воздействием условий эксплуатации и др.

В статье «Динамическая балансировка» мы рассмотрели, что все роторы, в зависимости от величины динамических изгибных деформаций, подразделяются на жесткие и гибкие, и что жесткие роторы балансируются методами по ГОСТ ИСО 1940-1. Данные методы предусматривают одно- или двухплоскостную балансировку в зависимости от мест сосредоточения начального дисбаланса – в одной или двух плоскостях. Для большинства роторного оборудования (насосов, вентиляторов, компрессоров и др.) вполне достаточна двухплоскостная балансировка, но в особо требовательных случаях проводят многоплоскостную балансировку ротора. Рекомендуемые классы точности балансировки жестких роторов приведены в следующей таблице:

Виды машин (роторов)	Класс точности балансировки
Приводные коленчатые валы (конструктивно не уравновешенные) для крупных низкоскоростных судовых дизельных двигателей (скорость движения поршня менее 9 м/с)	G 4000
Приводные коленчатые валы (конструктивно уравновешенные) для крупных низкоскоростных судовых дизельных двигателей (скорость движения поршня менее 9 м/с)	G 1600
Приводные коленчатые валы (конструктивно не уравновешенные) на виброизоляторах	G 630
Приводные коленчатые валы (конструктивно не уравновешенные) на жестких опорах	G 250
Двигатели возвратно-поступательного действия в сборе для легковых автомобилей, грузовиков и локомотивов	G 100
Детали автомобилей: колеса, колесные диски, колесные пары, трансмиссии Приводные коленчатые валы (конструктивно уравновешенные) на виброизоляторах	G 40
Сельскохозяйственные машины Приводные коленчатые валы (уравновешенные) на жестких опорах Дробилки Приводные валы (карданные валы, винтовые валы)	G 16
Авиационные газовые турбины Центрифуги (сепараторы, отстойники) Электрические двигатели и генераторы (с высотой оси вала не менее 80 мм) с максимальной номинальной частотой вращения до 950 мин-1 Электрические двигатели с высотой оси вала менее 80 мм Вентиляторы Зубчатые передачи Машины общего назначения Металлорежущие станки Бумагоделательные машины Насосы Турбонагнетатели Водяные турбины	G 6,3
Компрессоры Приводы с управлением от компьютера Электрические двигатели и генераторы (с высотой оси вала не менее 80 мм) с максимальной номинальной частотой вращения свыше 950 мин-1 Газовые и паровые турбины Приводы металлорежущих станков Текстильные станки	G 2,5
Приводы аудио- и видеоаппаратуры Приводы шлифовальных станков (машин)	G 1
Шпиндели и приводы высокоточного оборудования Гироскопы	G 0,4



Что касается гибких роторов, меняющих свою форму в зависимости от частоты вращения, то их балансировку проводят с помощью процедур, рекомендуемых ГОСТ 31320:

- Процедура A: одноплоскостная балансировка при сосредоточении начального дисбаланса в одной поперечной плоскости. В эту же плоскость устанавливаются корректирующие массы.
- Процедура B: двухплоскостная балансировка при сосредоточении начального дисбаланса в двух поперечных плоскостях. В эти же плоскости устанавливаются корректирующие массы.
- Процедура C: применяется для составных роторов и включает балансировку отдельных узлов перед сборкой на низкой скорости вращения в соответствии с ГОСТ 22061.
- Процедура D: балансировка ротора в сборе (после проведения процедуры C) при начальном дисбалансе, не превышающем установленных пределов.
- Процедура E: балансировка ротора на этапах сборки, когда первоначально уравновешивают вал, а затем проводят ряд последовательных балансировок с установкой каждой новой детали, причем корректирующие массы устанавливают именно на эту (новую) деталь.
- Процедура F: балансировка в оптимальных плоскостях, которая применяется для однотипных роторов с равномерно распределенным дисбалансом вдоль оси ротора. При данной процедуре экспериментально подбираются оптимальные плоскости коррекции, в которых затем проводится балансировка на низких скоростях вращения.

- Процедура G: балансировка ротора на нескольких скоростях вращения, близких к критическим (в диапазоне рабочих скоростей вращения), включая и балансировку на максимальной испытательной скорости. Данная процедура подразумевает анализ мод колебаний и реализуется с помощью компьютерных программ, например, таких как **BALTECH Balance**.
- Процедура H: балансировка на рабочей скорости, применяемая для роторов, проходящих одну или несколько критических скоростей до достижения рабочей скорости. Данная процедура возможна при выполнении, как минимум, одного из следующих условий:
- скорость разгона и выбега такова, что амплитуда вибрации на критических скоростях не успевает превысить допустимых пределов;
- степень демпфирования системы настолько высока, что амплитуда вибрации на критических скоростях находится в допустимых пределах;
- конструкция опор ротора позволяет избежать нежелательных вибраций;
- приемлемость высокого уровня вибраций на критических скоростях;
- пренебрежимо малые нежелательные вибрации при разгоне/выбеге.

Отметим, что разделение роторов на жесткие и гибкие достаточно условно и зависит от скорости вращения. Так, ротор, рассматриваемый нами как жесткий, может, начиная с некоторой скорости вращения проявлять качества гибкого ротора. Учитывая это, выбор того или иного метода балансировки определяется не только конфигурацией ротора, но и его скоростью вращения:

Процедура	Описание
	Низкоскоростная балансировка
A	Одноплоскостная балансировка
B	Двухплоскостная балансировка
C	Балансировка отдельных узлов перед сборкой
D	Последующая балансировка при контроле начального дисбаланса
E	Балансировка на этапах сборки
F	Балансировка в оптимальных плоскостях
	Высокоскоростная балансировка
G	Балансировка на нескольких скоростях вращения
H	Балансировка на рабочей скорости
I	Балансировка на фиксированной скорости

Динамическая балансировка роторов проводится на балансировочных станках или стендах. Одними из лучших на отечественном рынке являются станки компании «Балтех» , наиболее оптимальные по качеству, функциональности и цене. На сегодняшний день компания «Балтех» производит более 50 моделей горизонтальных, вертикальных, автоматических и специальных балансировочных станков, предназначенных для балансировки роторов самых различных конфигураций, жесткости, габаритов и веса. Так, одноопорные роторы балансируются на вертикальных станках «Балтех», жесткие роторы с двумя цапфами – на горизонтальных, а гибкие роторы, изгибающиеся на рабочей частоте – на быстроходных вакуумных станках.

Во многих случаях балансировка ротора на станке может быть недостаточной в силу различия реальных условий вращения ротора в машине от условий вращения на балансировочном станке. И в этом случае необходима финишная балансировка в собственных опорах с помощью переносных комплектов – балансировщиков Протон-Баланс-II или BALTECH VP-3470.

Современные балансировочные станки и приборы «Балтех» по умолчанию подразумевают высокую квалификацию оператора- балансировщика. Для получения глубоких теоретических знаний по основам балансировки вращающихся механизмов и получить профессиональные навыки на станках и приборах «Балтех», рекомендуем вам пройти **Курс ТОР-102 «Динамическая балансировка»** в учебном центре компании Балтех.

БАЛАНСИРОВКА СВОИМИ РУКАМИ

Говоря о «балансировке своими руками», мы, прежде всего, понимаем балансировку колес автомобиля. И это не случайно, так как многие из нас являются автомобилистами и проблема биений колеса во время движения знакома каждому. Статическую балансировку колеса можно провести с помощью домкрата непосредственно на автомобиле, но лучше – с помощью специального приспособления, изготовленного своими руками.

При балансировке своими руками в домашних условиях устраняется только статическая неуравновешенность ротора (колеса, маховика, коленвала), а для устранения динамической неуравновешенности уже необходима динамическая балансировка на специальных **балансировочных станках** или стендах, что в большинстве случаев невозможно реализовать на дому.

Существует множество приспособлений для статической балансировки, но наиболее простейшим, доступным для изготовления каждому, является приспособление с параллельными призмами или ножами. Процедура определения дисбаланса ротора на призмах или ножах достаточно проста и подробно описана в статье «Статическая балансировка». Балансировка своими руками на ножах позволяет добиться удельного остаточного дисбаланса в пределах 10- 30 мкм. При наличии навыков домашнего мастера можно сконструировать и другие приспособления для балансировки и добиться чуть более точной балансировки колес, дисков, маховика, коленвала и т.д.

Статической балансировкой своими руками можно ограничиться в случаях, не особо требовательных к точности определения дисбаланса. Если же требуется высокая точность балансировки, то необходимо обязательно проводить динамическую балансировку на специальных балансировочных станках или стендах. Конечно, при достаточной квалификации и свободных денежных средствах, можно сконструировать такой станок самостоятельно, но, как говорится, в данном случае «овчинка не стоит выделки» и лучше купить балансировочный станок от известного производителя. К примеру, обратите особое внимание на линейку балансировочных станков компании «Балтех», которая включает более 50 моделей дорезонансного типа для любых типов роторов, самых различных габаритов и веса. С принципами работы станков «Балтех» вы можете ознакомиться, просмотрев блок роликов «балансировка своими руками видео»:

1. **Горизонтальный станок для балансировки роторов серии BALTECH HBM**
2. **Балансировочный станок BALTECH HBM-7105**
3. **Виброметр балансировщик "ПРОТОН-Баланс-II"**
4. **Виброанализатор для вибродиагностики и балансировки**

Научиться работе на станках и приборах «Балтех» вы можете на **Курсе ТОР-102 «Динамическая балансировка»**, который на регулярной основе проводится в Учебном центре компании «Балтех».

БАЛАНСИРОВКА ТУРБИН

Промышленная турбина – технически сложная динамическая машина, главной подвижной деталью которой является ротор – вал в сборе с дисками, рабочими лопатками и соединительными муфтами. В процессе эксплуатации турбины, в силу целого ряда причин (износа лопаток, налипания инородных частиц, изгиба вала и др.) , в роторе могут возникнуть неуравновешенные массы, вносящие значительный вклад в общее вибрационное состояние турбоагрегата. Если неуравновешенность ротора турбины приводит к недопустимым вибрациям подшипников опор, то необходимо проведение динамической балансировки турбины. Пренебрежение данной процедурой чревато появлением целого «букета» неприятных сюрпризов: расшатыванием и разрушением подшипниковых опор, расцентровкой валов, нарушением плотности фланцевых соединений и др.

В зависимости от рабочей частоты вращения, ротор турбины может быть жестким или гибким. К жестким роторам относятся роторы, вращающиеся на рабочей частоте, значительно меньше критической, а к гибким – роторы, с рабочей частотой, превышающей критическую частоту. Здесь под критической частотой понимается частота, при которой наблюдается резонанс собственных и вынужденных колебаниях ротора.

Для большей надежности работы турбин, их роторы всегда стараются выполнить жесткими. Динамическая балансировка турбин с жестким ротором производится на тихоходных дорезонансных станках «Балтех» **горизонтального типа серии BALTECH HBM-7100**. Процедура проведения балансировки турбин на станках BALTECH HBM-7100 проводится в два пуска и включает следующие этапы:

1. Установку и надежное закрепление ротора турбины на жесткие роликовые опоры.
2. Первый пуск ротора во вращение и получение данных по величине и углу установки корректирующих масс.
3. Установку/снятие корректирующих масс.
4. Второй пуск с целью контроля остаточного дисбаланса в пределах допустимых значений.

В случае турбины с гибким ротором, изгибающимся на рабочей частоте вращения, балансировку турбины необходимо проводить на низких и высоких рабочих частотах вращения на зарезонансном вакуумном станке.

В целом же, правильная балансировка турбины подразумевает динамическую балансировку вала с каждой новой устанавливаемой деталью на тихоходном станке BALTECH HBM-7100 и балансировку полностью собранного и облопаченного ротора в сборе на вакуумном станке BALTECH.

После процедур балансировки на станках BALTECH обязательна финишная балансировка турбины по месту установки (с помощью приборов ПРОТОН-Баланс-II или BALTECH VP-3470). Связано это с возможным появлением дисбаланса за счет перекосов подшипниковых опор, расцентровки приводов, огрехов в фундаменте и др.

Для получения практических навыков по балансировке турбин компания «Балтех» рекомендует прохождение курса **ТОР-102 «Динамическая балансировка турбин»**

УСЛУГИ ПО БАЛАНСИРОВКЕ

Если уровень вибрации вашего роторного оборудования начинает превышать допустимые значения, то это, в большинстве случаев, означает, что вам нужна динамическая балансировка. Услуги по ее проведению – часть обширной программы компании «Балтех» по обеспечению надежности динамического оборудования. Услуги по балансировке роторов оказываются специалистами службы технического сервиса «БАЛТЕХ» на станках серий BALTECH HBM-7100, **BALTECH VBM-7200**, BALTECH SBM-7300 в стенах нашей компании, или в собственных опорах (с помощью приборов ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470) с выездом к Заказчику.

Своевременная балансировка в собственных опорах позволяет избежать достаточно трудоемких и затратных демонтажных работ, поддержать эксплуатационные показатели в заданных пределах, предупредить аварийные остановы и внеплановые ремонты роторного оборудования.

Услуги балансировки в собственных опорах проводятся с помощью приборов – балансировщиков ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470 и включают одно-, двух- или многоплоскостную балансировку в зависимости от типа роторного оборудования. Начиная с балансировки стандартных рабочих колес вентиляторов и заканчивая многотонными роторами промышленных турбин, – весь спектр роторов в сфере компетенции специалистов отдела технического сервиса «БАЛТЕХ», гарантирующих высокое качество балансировки независимо от вида роторного оборудования.

Процедура балансировки в собственных опорах включает:

- установку измерительных датчиков вибрации и частоты оборотов ротора;
- проведение измерений начального уровня вибрации и с пробным грузом;
- определение величины и угла установки балансировочных грузов;
- установку балансировочных грузов на рабочие элементы оборудования;
- контрольный замер уровня вибрации;
- составление отчета балансировки.

По вашему выбору услуги балансировки в собственных опорах могут быть представлены для разовой, периодической (раз в месяц или квартал) или постоянной балансировки оборудования (с ведением баз данных состояния обслуживаемого оборудования). Стоимость услуг балансировки приведена **здесь**.

СТОИМОСТЬ БАЛАНСИРОВКИ

Балансировка роторов – важная и ответственная процедура, которую необходимо проводить как для новых роторов, так и для роторов после ремонта. Балансировка роторов позволяет с необходимой точностью уменьшить дисбалансы ротора и, тем самым, свести амплитуду вредных вибраций до допустимых значений.

Правильная балансировка роторов на станках или в собственных опорах позволяет на 23%-100% увеличить срок службы крыльчаток и рабочих колес и на 10%-25% повысить их полезную мощность. Вместе с этим, динамической балансировкой предупреждаются преждевременный износ подшипниковых опор, внеплановые ремонты и аварийные остановы.

Говоря «балансировка цена», мы подразумеваем стоимость работ по балансировке роторов, которая формируется с учетом целого ряда факторов. Прежде всего, цена балансировки зависит от места проведения работ – на балансировочных станках или в собственных опорах по месту установки роторного оборудования.

В первом случае, необходимы дополнительные затраты на демонтаж ротора, во втором – необходимо оплачивать транспортные расходы по доставке мобильного балансировочного оборудования и операторов к месту проведения работ.

Стоимость же самой процедуры балансировки в общем случае определяется:

- габаритами, конфигурацией, типом (жесткий или гибкий) и весом ротора;
- текущего состояния ротора и необходимости/отсутствии предбалансировочных работ с целью устранения недостатков (сколов, загрязнений и т.д.);
- трудо-временными затратами на балансировку, которые, в первую очередь, зависят от количества плоскостей коррекции и точек контроля;
- амортизацией оборудования;
- количеством электроэнергии, необходимой для проведения работ;
- количеством расходных материалов.

К примеру, цена балансировки 1-2 килограммового вала на «лабораторном» балансировочном станке **BALTECH HBM 7105** будет существенно меньше цены балансировки 500 кг ротора на значительно более дорогом станке BALTECH HBM 7130 TNK. И, наконец, наибольшей является стоимость балансировки гибких роторов, изгибающихся на рабочей частоте, и требующих установки на быстроходные вакуумные станки.

В нижеследующей таблице приведена цена балансировки крыльчаток, вентиляционных агрегатов, дымососов, компрессоров в компании «Балтех»:

Вид технического обслуживания	количество механизмов	стоимость, руб	Примечание
Балансировка типовых механизмов	1	от 2990 (стоимость работ уточняется по техническому заданию)	Базовая цена учитывает затраты на балансировку до 3-х плоскостей.
Балансировка типовых механизмов	1	от 29 900(стоимость работ уточняется по техническому заданию)	Базовая цена учитывает затраты на балансировку до 16-ти плоскостей.

Если у вас значительный парк роторного оборудования, то, возможно, вам будет экономически выгодней не пользоваться услугами сторонних организаций, а купить балансировочные станки или приборы «Балтех» и проводить балансировку силами собственных технических специалистов, прошедших обучение на курсах **ТОР-102 «Динамическая балансировка»** и ТОР-103 «Основы вибрационной диагностики» в Учебном центре компании «Балтех». .

БАЛАНСИРОВКА ШКИВОВ

Ременная передача – простой и эффективный способ передачи вращательного движения, находящий широкое применение в различных машинах и механизмах. Обеспечивая долговечную и надежную работу ременной передачи, важно не только проводить центровку шкивов, но и балансировку каждого шкива передачи. Шкив является разновидностью ротора, в котором, благодаря его геометрии, существенную роль играет статический дисбаланс, а моментным дисбалансом в большинстве случаев можно пренебречь. Иными словами, уравновесить шкив можно, применяя только методы статической балансировки.

Статическую балансировку шкива можно провести своими руками с помощью балансировочных приспособлений: призм или ножей, роликовых устройств, балансировочных весов и т.д.

Нормы статической балансировки шкивов в зависимости от линейной скорости вращения:

Скорость, м/с	Дисбаланс, г-м
5-10	6
10-15	3
15-20	2
Более 20	1

Как можно видеть из таблицы, увеличение скорости вращения ужесточают нормы статической балансировки шкивов. Аналогична ситуация и с динамической неуравновешенностью шкива – с увеличением его скорости вращения, моменты сил, вызванные неуравновешенными массами, становятся столь значительными, что теперь уже нельзя руководствоваться мнением о достаточности проведения только статической балансировки, а необходимо проводить динамическую балансировку шкивов.

Динамическая балансировка шкивов проводится, как правило, в одно плоскости коррекции, за исключением многоручьевых шкивов достаточной ширины, балансировка которых проводится в двух плоскостях.

Динамическую балансировку шкивов удобней всего проводить на вертикальных станках серии **BALTECH VBM-7200M**, которая специально разработана для балансировки шкивов и роторов подобной им геометрии: рабочих колес, дисков, ступеней турбин и т.д. Балансировка шкива на станке BALTECH VBM-7200 проводится в одной или двух плоскостях и занимает всего несколько минут:

- закрепляют шкив на шпинделе станка;
- запускают привод и снимают значение величины и угла установки/снятия корректирующей массы;
- установка/снятие корректирующей массы.

Для снятия корректирующей массы станки серии VBM-7200 опционально комплектуются сверлильным или фрезерным устройством.

Серия BALTECH VBM-7200 включает несколько моделей, обеспечивающих балансировку шкивов массой до 100 кг и диаметром до 600 мм с достижением минимального остаточного удельного дисбаланса – до 5 мкм.

Помимо станков BALTECH, балансировку шкивов можно провести по месту установки оборудования – в собственных опорах с помощью приборов ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470. Если у вас нет достаточного опыта работы с данными приборами, то вам необходимо воспользоваться услугами опытных специалистов службы технического сервиса «Балтех».

Наблюдая за работой настоящих профессионалов, вы получите первое представление о методике и тонкостях процедуры балансировки в собственных опорах. А углубить свои знания и получить практические навыки со станками и приборами BALTECH вы можете на **Курсе TOP-102 «Динамическая балансировка в собственных опорах»**.

БАЛАНСИРОВКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Идеально сбалансированный ротор электродвигателя – это ротор, центральная ось инерции которого совпадает с осью вращения. На самом же деле на практике, в большей или меньшей степени, всегда наблюдается дисбаланс ротора. И если его величинапревосходит допустимые значения, то проводят балансировку ротора электродвигателя.

Ротор электродвигателя состоит из множества деталей, которые могут иметь неоднородную плотность и дефекты геометрии, отклонения при установке на валу и т.д. – все это и является причиной возникновения критического дисбаланса, при котором нужно обязательно проводить балансировку электродвигателей.

Балансировка ротора электродвигателя или, что то же самое, балансировка якоря электродвигателя может проводиться как в статическом, так и в динамическом режиме.

Как известно, центробежные силы инерции и моменты сил инерции, обусловленные дисбалансом и возникающие при вращении ротора, имеют квадратичную зависимость от угловой скорости. Поэтому, для тихоходных электродвигателей можно ограничиться проведением статической балансировки, а для двигателей с высокой частотой вращения ротора уже необходима динамическая балансировка.

Статическая балансировка якорей электродвигателей может проводиться на призмах, дисках или с помощью балансировочных весов (см. рис.1).

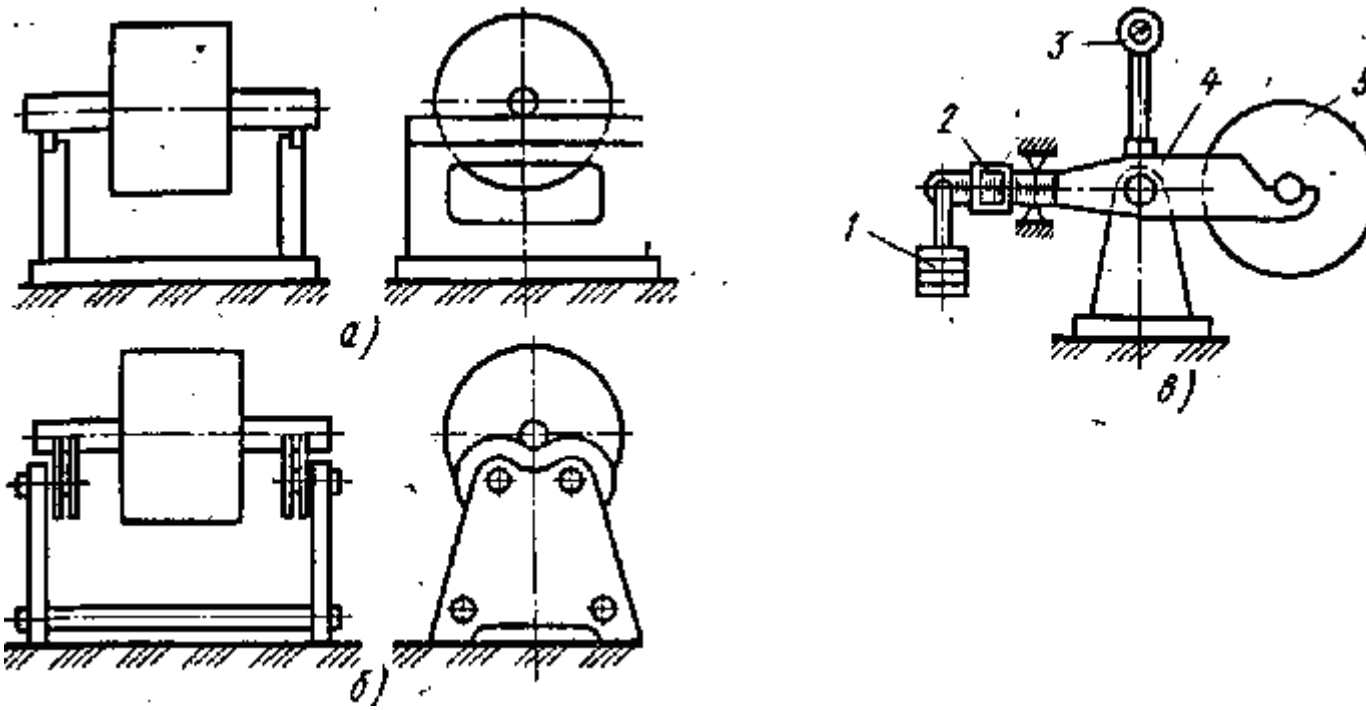


Рис1.Способы статической балансировки роторов и якорей: а — на призмах, б — на дисках, в - на специальных весах; 1 — груз, 2 — грузовая рамка, 3 — индикатор, 4 — рама, 5 — балансируемый ротор (якорь)

При относительной простоте реализации статической балансировки на призмах, дисках и т.д., данные методы обладают целым рядом существенных недостатков: значительным временем проведения измерений, необходимостью достаточно громоздких ручных вычислений, а самое главное, недостаточной точностью уменьшения дисбаланса.

Современные условия требуют применения более совершенного оборудования для балансировки электродвигателей, а именно, горизонтальных дорезонансных балансировочных станков BALTECH HBM-7100.

Балансировочные станки для якоря электродвигателя серии **BALTECH HBM-7100** предназначены для двухплоскостной балансировки якорей любого исполнения – от самых маленьких до самых больших, начиная от 0,1 кг якоря диаметром 235 мм и заканчивая якорями с диаметром в 4500 мм и весом до 95 тонн. После балансировке ротора на одном из станков BALTECH HBM-7100 рекомендуется провести финишную балансировку ротора в собственных опорах (в сборе с рабочим элементом машины) на рабочих частотах вращения с помощью прибора BALTECH VP-3470.

видео балансировка BALTECH VP-3470

Технические специалисты, обслуживающие электродвигатели и другие динамические машины приглашаются на **Курс ТОР-102 «Динамическая балансировка якорей электродвигателей»**, по завершении которого выдается сертификат, дающий право на работу с балансировочными станками и приборами BALTECH.

БАЛАНСИРОВКА

Понятие балансировки относится к любым симметричным относительно оси вращения телам (роторам) и представляет собой процедуру уравновешивания неуравновешенных масс, при которой происходит совмещение одной из главных осей инерции тела с его осью вращения.

Любой реально существующий ротор не является идеальным ротором, а всегда, в большей или меньшей мере, может иметь недочеты в точности геометрии изготовления, неоднородность в плотности материала изготовления, недостаточно точную посадку в подшипники. По этим причинам в роторе возникают неуравновешенные массы, которые приводят к смещению центра инерции относительно оси вращения и, как следствие, вызывающие появление неуравновешенных сил инерции и моментов сил. Силы инерции и моменты сил вращаются вместе с ротором (изменяют свое направление со скоростью вращения ротора) и являются одной из главных причин возникновения вибраций, оказывающих разрушительное действие на подшипниковые опоры и механизм в целом. Вот почему так важно компенсировать влияние этих сил и моментов сил, то есть, проводить балансировку.

Прежде чем переходить к описанию современных методов балансировки, давайте вкратце разберемся с главными физическими величинами, характеризующими неуравновешенные массы, и возможные виды неуравновешенности роторов.

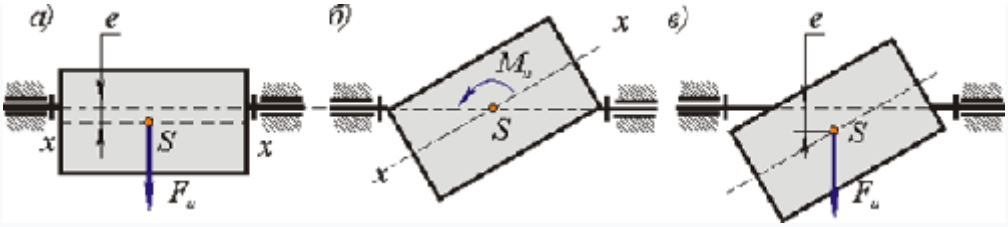


Рис.1

На рис.1 приведены три возможных случая неуравновешенности ротора в соответствии с ГОСТ 19534-74:

а) Статическая неуравновешенность ротора, когда оси вращения и инерции параллельны, но смещены на некоторое расстояние е (эксцентриситет).
б) Моментная неуравновешенность ротора, когда оси вращения и инерции пересекаются в центре масс **S** под некоторым углом.
в) Динамическая неуравновешенность ротора, когда оси вращения и инерции пересекаются вне центра масс **S**, или не пересекаются, а перекрещиваются в пространстве.

Как можно видеть, статическая и моментная неуравновешенность ротора являются частными случаями динамической неуравновешенности ротора. Мерой статической неуравновешенности ротора принято считать главный вектор дисбалансов (**D**), равный произведению массы ротора (**m**) на его эксцентриситет (**e**):

$$D = m*e \quad (1)$$

Существует прямая связь между главным вектором дисбаланса и главным вектором силы инерции (**F**), возникающим при вращении ротора:

$$F = -D*\omega^2 \quad (2)$$

где **ω** – угловая скорость вращения ротора.

Динамической мерой неуравновешенности ротора является главный момент дисбалансов (**M**), равный геометрической сумме всех моментов дисбалансов ротора относительно его центра масс:

$$M \propto D*\omega^2 \quad (3)$$

Как можно видеть из вышеприведенных формул, силы инерции и моменты сил прямо пропорциональны величине дисбалансов и имеют квадратичную зависимость от угловой скорости вращения ротора. Вот почему необходимость и качество балансировки особенно актуальны для быстровращающихся роторов.

Возвращаясь к видам неуравновешенности ротора, заметим, что:

- при статической неуравновешенности ротора главный вектор дисбалансов **D≠0** а главный момент дисбалансов **M=0**. В данном случае для балансировки ротора достаточно установить одну корректирующую массу-противовес, дисбаланс которой равен по величине существующему дисбалансу ротора, но противоположен по направлению. На практике статическую неуравновешенность компенсируют в одной корректирующей плоскости (перпендикулярную оси вращения ротора и удобную для размещения корректирующей массы), в которой подбирают массу противовеса и место его установки так, чтобы суммарный итоговый дисбаланс был равен нулю.
- При моментной неуравновешенности ротора главный вектор дисбалансов **D=0**, а главный момент дисбалансов **M≠0** В данном случае для балансировки ротора необходимо, не нарушая статической уравновешенности, разместить на роторе две одинаковые корректирующие массы на равных расстояниях от оси вращения и центра масс **S**. Массу и место установки корректирующих грузов подбирают так, чтобы создаваемый ими момент компенсировал существующий момент дисбалансов ротора. На практике данное условие реализуется подбором двух корректирующих плоскостей (перпендикулярных оси вращения ротора и удобных для размещения корректирующих масс), в которых устанавливают корректирующие массы так, чтобы суммарный итоговый момент был равен нулю.
- При динамической неуравновешенности ротора главный вектор дисбалансов **D≠0** и главный момент дисбалансов **M≠0**. В данном случае также необходимы две корректирующие массы, величина и место расположения которых подбираются так, чтобы их дисбаланс и момент дисбалансов был равен по величине, но противоположен по направлению существующему главному вектору дисбалансов и моменту дисбалансов ротора. На практике данное условие реализуется подбором двух корректирующих плоскостей, в которых устанавливают две корректирующие массы так, чтобы суммарный итоговый момент дисбалансов и суммарный итоговый дисбаланс были равны нулю.

Здесь отметим, что никогда не удается полностью избавиться от дисбаланса ротора и всегда существует, так называемый, остаточный дисбаланс, величина которого регламентируется классом точности балансировки в зависимости от вида ротора. В соответствии с ГОСТ ИСО 1940-1 приняты 11 классов точности жестких роторов, в качестве которых можно рассматривать абсолютное большинство роторов общепринятых машин на их рабочих скоростях вращения.

Как мы уже отмечали выше, неуравновешенность ротора является главным источником низкочастотных вибраций подшипниковых опор. Но помимо качественной связи, существует строгая зависимость амплитуды и фазы вибраций от величины и местоположения дисбаланса. Именно на этом факте основана работа всех современных балансировочных станков и приборов – через измерения величины и фазы вибраций с высокой точностью определяют массу и место установки корректирующих грузов в одной-, двух и более корректирующих плоскостях.

Компания «БАЛТЕХ», являясь признанным экспертом в области динамической балансировки роторов, производит серии балансировочных станков и приборов, лучших в своем сегменте по функциональности, скорости проведения измерений и точности балансировки – до 0.5 г*мм/кг.

Линейка балансировочных станков «БАЛТЕХ» включает:

- Горизонтальные станки **BALTECH HBM** для роторов весом от 1 кг до 95 тонн;
- Вертикальные станки **BALTECH VBM** для роторов весом от 1 до 100 кг;
- Автоматические балансировочные линии BALTECH ABM-7300;
- Специальные балансировочные станки BALTECH SBM.

Помимо балансировочных станков, компания «БАЛТЕХ» продвигает на рынке переносные балансировочные комплекты ПРОТОН-БАЛАНС-II и BALTECH VP-3470 (на базе виброанализатора CSI 2140) для динамической балансировки в собственных опорах, а также программу расчета балансировки BALTECH Balance.

Несомненным преимуществом компании «БАЛТЕХ» является наличие собственного Учебного центра, в стенах которого регулярно проводятся разнообразные обучающие курсы. В частности, для самостоятельной балансировки роторов на станках или с помощью мобильных приборов-балансировщиков «БАЛТЕХ», рекомендуем направить ваших технических специалистов на прохождение **Курса ТОР-102 «Динамическая балансировка»**, по окончанию которого выдается сертификат, дающий право на осуществление данного вида работ.

БАЛАНСИРОВОЧНЫЙ СТАНОК ДЛЯ КАРДАННЫХ ВАЛОВ

Карданный вал – разновидность ротора со сложной геометрией и несколькими местами сочленения. Для устранения его дисбаланса данные конструктивные особенности кардана диктуют обязательное использование станка для балансировки карданных валов. Дисбаланс кардана – явление исключительно вредное и опасное, приводящее к ускоренному изнашиванию смежных деталей и машины в целом.

Причинами появления дисбаланса кардана могут быть:

- неточность изготовления деталей кардана;
- неоднородность структуры и плотность материала;
- неправильная центровка узлов и нарушение соосности деталей кардана;
- естественный износ и появление увеличенных зазоров;
- деформация кардана, как на технологическом этапе, так и во время эксплуатации.

Балансировочный станок карданных валов должен удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать балансировку в 2-х и более плоскостях (оптимально в 4-х). Чем больше плоскостей коррекции, тем более точно удается сбалансировать кардан;
- иметь точную систему измерений с минимальными погрешностями в определении параметров вибрации;
- иметь опоры, адаптированные к высоким механическим нагрузкам, и с возможностью перемещения по станине для подстройки под карданы разной длины;
- снабжаться элементами пассивной или активной защиты;
- оснащаться программой-калькулятором для автоматического определения величины и угла установки уравновешивающих масс;
- оснащаться программой для ведения и анализа баз данных, формирования трендов и сохранения отчетов.

Всем вышеназванным требованиям отвечает станок для балансировки карданных валов **BALTECH SBM-7300-PTN**, предназначенный для балансировки карданов массой 0,5÷ 30 кг, диаметром до130мм и длиной до 2000мм. Среди главных преимуществ станка BALTECH SBM-7300-PTN перед аналогами других производителей:

- интуитивно понятное компьютерное управление, наглядное представление информации на ЖК-дисплее;
- короткое время разгона и быстрый цикл балансировки;
- высокая точность балансировки;
- перманентная калибровка;
- мощное инновационное ПО, включающее все методы балансировки;
- простота переналадки, не требующая специального инструмента.

Процедура 2-х плоскостной балансировки карданов на станке BALTECH SBM-7300-PTN проводится силами одного оператора и занимает всего несколько минут. Серия станков для балансировки карданных валов SBM-7300 специально разработана для мелкосерийных производств и сервисных компаний и включает несколько моделей, полностью охватывающих весь диапазон возможных длин и весов карданов.

Для обучения работе на балансировочном станке карданных валов рекомендуется прохождение курса **TOP-102 «Основы динамической балансировки. Станки для балансировки карданных валов»**.

БАЛАНСИРОВОЧНЫЙ СТАНОК

Балансировочный станок – прецизионное электромеханическое устройство с электронной измерительной системой, предназначенное для уменьшения динамического (статического) дисбаланса роторов различной конфигурации, габаритов и веса.

Производство балансировочных станков – одно из главных направлений деятельности компании «Балтех». Вот уже более 30 лет компания «Балтех» ежегодно выводит на отечественный рынок новые модели горизонтальных, вертикальных, автоматических и специальных станков BALTECH дорезонансного типа. Балансировочные станки для роторов BALTECH охватывают все возможные типы роторов, что дает каждому клиенту возможность подобрать модель станка BALTECH, максимально соответствующую вашему типу роторного оборудования.

Дорезонансные станки BALTECH предназначены для балансировки:

- роторов и рабочих колес вентиляторов;
- якорей электродвигателей;
- цилиндров прессов;
- станочных и ходовых шпинделей;
- крыльчаток насосов и компрессоров;
- роторов турбин;
- карданных и коленчатых валов;
- шлифовальных кругов;
- сепараторов и центрифуг;
- дисков, фланцев, звездочек и зап/частей
- механизмов в сборе,

обеспечивая минимально достижимый удельный дисбаланс – до 0.5 г*мм/кг. Высокая точность станков BALTECH обусловлена высокой чувствительностью вибродатчиков и точной калибровкой балансировочного станка.

Работа балансировочных станков, как и станков других производителей, основана на пропорциональности уровня и фазы вибрации величине и месту расположения дисбалансов ротора. Иными словами, измеряя амплитуду и фазу вибрации в выбранной точке контроля, можно определить величину и угол установки уравновешиваемой массы в выбранной плоскости коррекции.

Как работает балансировочный станок? Рассмотрим процедуру балансировки ротора на примере горизонтального станка серии BALTECH HBM:

1. Балансируемый ротор закрепляют на жестких роликовых опорах и вводят в программу станка данные по его геометрии.
2. Запускают привод и при достижении необходимой скорости вращения считывают с дисплея данные по величине и углу установки корректирующих масс в одной или двух плоскостях коррекции.
3. Останавливают ротор и устанавливают/снимают корректирующие массы в соответствии с полученными результатами измерений.
4. Проводят повторный запуск ротора для контроля величины остаточного дисбаланса.

Балансировочные станки BALTECH – продукты инновационных технологий, имеющие не всем доступную цену. Особенно это касается владельцев мелких производств и ремонтных компаний, которые очень часто задаются вопросом: А можно ли изготовить балансировочный станок своими руками? Да, можно. Для этого необходимо самостоятельно изготовить механические детали станка (станину, опоры, защитное ограждение и др.), создать электропривод, и приобрести измерительную систему BALTECH.

Если же у вас обширный парк роторных машин, то вам необходимо купить балансировочный станок BALTECH. Как показывает практика, станки BALTECH в рамках больших производств окупаются уже в первые 4-6 месяцев.

ВЕСЫ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ

Хорошо известно, что для роторов с диаметром в 5 и более раз превышающим его длину, решающий вклад в общую неуравновешенность ротора вносит статический дисбаланс, и в большинстве случаев можно сосредоточиться именно на его устранении, пренебрегая малым значением динамического дисбаланса. К роторам, для которых применимо данное утверждение, относится большинство типовых роторов: рабочие колеса вентиляторов и насосов, звездочки, фланцы, шкивы, шлифовальные круги и т.д. Статическую балансировку роторов можно провести с помощью призм (ножей) или роликовых устройств различного типа. Несмотря на простоту реализации, статическая балансировка на призмах или роликах имеет существенные недостатки: трудоемкость проведения измерений, включающих ручные вычисления, и недостаточно высокая точность балансировки.

На сегодняшний день лучшим средством статической балансировки являются весы для балансировки BALTECH WM (Weighing Machine). Во-первых, они не требуют никаких вычислений, автоматически определяя величину и место установки уравновешивающего груза; во-вторых, весы для балансировки BALTECH WM обеспечивают существенно более высокую точность измерений – до 0,2 г*мм/кг остаточного удельного дисбаланса.

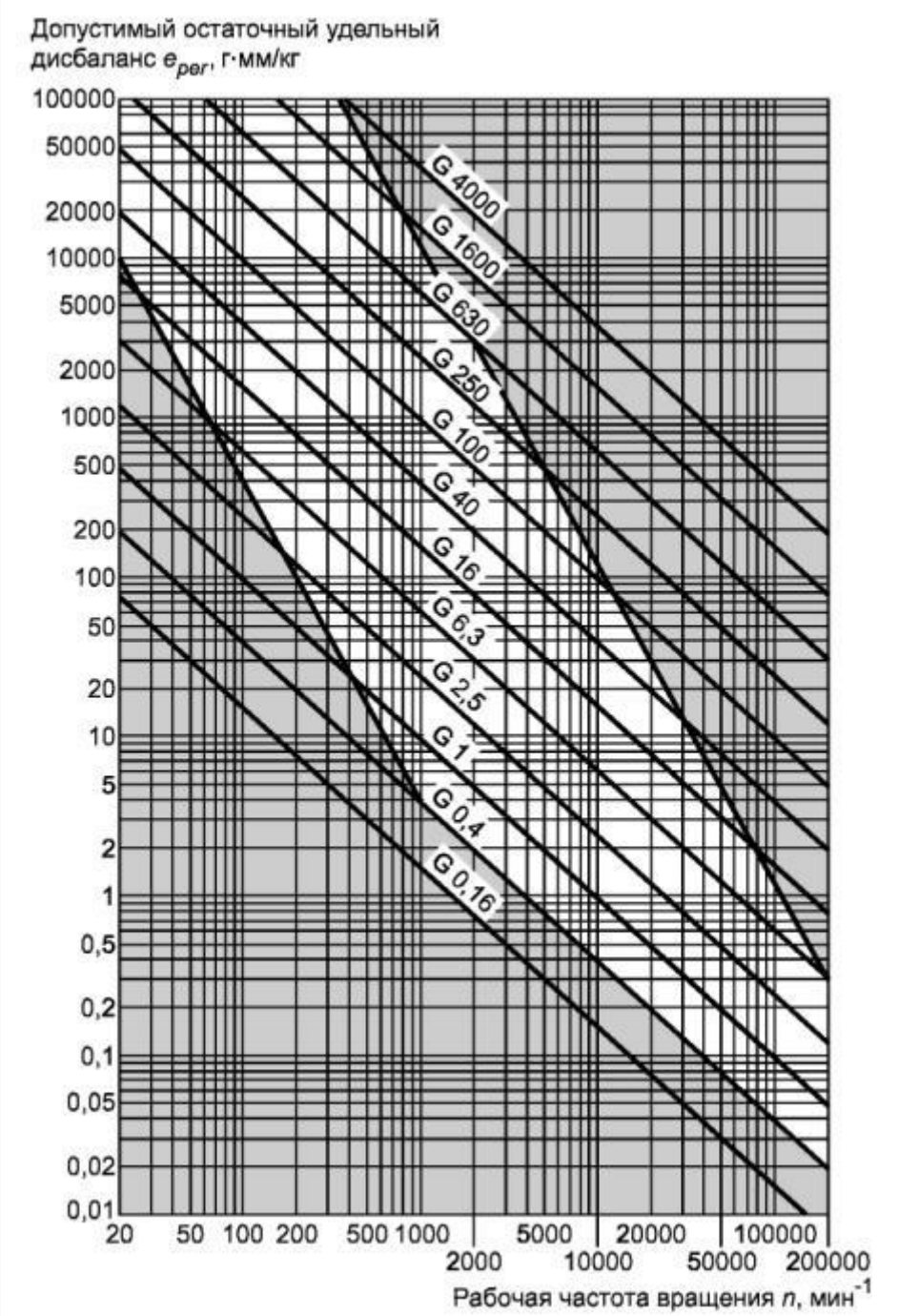
Процедура проведения измерений на весах для балансировки BALTECH WM элементарно проста: точно устанавливают деталь на весы и считывают место и величину дисбаланса на электронной шкале весов. После установки балансирующего груза проводят контрольное измерение остаточного дисбаланса.

В заключение напомним, что для быстровращающихся роторов, даже имеющих плоскую форму, утверждение о достаточности статической балансировки уже неприменимо. Все дело в том, что моменты сил, вызванные неуравновешенными массами, прямо пропорциональны квадрату частоты вращения и на высоких частотах достигают достаточно больших значений. В этом случае, вместо весов для балансировки, необходимо проводить динамическую балансировку на станках BALTECH или в собственных опорах с помощью приборов ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470.

Если вы не обладаете достаточными навыками работы со станками и приборами BALTECH, то лучше доверить балансировку вашего роторного оборудования специалистам службы технического сервиса «Балтех». А обучиться работе с балансировочным оборудованием можно на курсе **ТОР-102 «Динамическая балансировка»** в учебном центре «Балтех».

ГРУЗИКИ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ

Методы статической и динамической балансировки роторов позволяют уменьшить начальный дисбаланс до минимально допустимых значений в соответствии с рекомендуемыми классами точности:



Достигается это установкой пробных масс в процессе проведения измерений и установкой уравновешиваемых масс на самом последнем этапе балансировки роторов. В качестве пробных и уравновешиваемых масс используются грузики для балансировки. Их наиболее наглядным примером являются свинцовые грузики, закрепляемые на дисках автомобильного колеса.

В случае балансировки роторов на станках или в собственных опорах начальный дисбаланс может быть уменьшен либо с помощью высверливания/фрезерования «тяжелых» мест, либо установкой грузиков для балансировки.

В зависимости от существующих условий балансировки, этапа проведения работ, величины начального дисбаланса подбирают грузики для балансировки соответствующей массы с учетом простоты, надежности и безопасности крепления. К примеру, в большинстве случаев пробные массы снимаются с балансируемого ротора, поэтому в данном случае в качестве грузиков для балансировки наиболее оптимальны болты с гайкой или струбцины.

Уравновешиваемые же грузики для балансировки устанавливаются стационарно и в большинстве случаев в качестве грузиков для балансировки здесь также используют болтовое соединение или же наплав электрода электросварки.

Современные роторы вращаются на достаточно больших скоростях, поэтому очень важно свести к нулю вероятность отрыва грузика при вращении ротора, как при проведении балансировочных работ, так и при дальнейшей долгосрочной эксплуатации роторной машины.

В заключение отметим, что места установки грузиков для балансировки, подбираются на максимально возможном расстоянии от оси вращения (в этом случае минимальна масса уравновешиваемого грузика) так, чтобы они не касались неподвижных деталей машины при вращении ротора.

Варианты грузиков для балансировки

ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА

Динамическая неуравновешенность ротора характеризуется наличием как статической, так и моментной неуравновешенности, когда отличны от нуля и главный вектор дисбалансов (D) и главный момент дисбалансов (M):

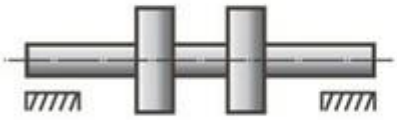
D≠0 и M≠0

При динамической неуравновешенности ротора ось его вращения и одна из главных осей инерции либо пересекаются вне центра масс, либо перекрещиваются в пространстве.

Устранение динамической неуравновешенности ротора производится методами динамической балансировки, при которых одновременно уменьшаются статическая и моментная неуравновешенности ротора. На практике, динамическая балансировка представляет собой процесс проверки распределения масс вращающегося ротора и , при наличии дисбалансов, изменение этого распределения с помощью корректирующих масс до достижения допустимого значения дисбаланса.

Выбор того или иного метода динамической балансировки, в первую очередь, определяется типом ротора – жестким или гибким. Если ротор при вращении не изгибается и ведет себя как абсолютно твердое тело, совершая лишь перемещения, обусловленные только колебаниями подшипникового узла, то такой ротор называется жестким. На самом же деле в любом реально существующем роторе всегда присутствуют динамические изгибные деформации, обусловленные распределением дисбалансов по длине ротора. Но если эти деформации пренебрежимо малы по сравнению с перемещениями, характерными для жестких роторов, и находятся в пределах допусков на всех частотах вращения ротора, то такой ротор рассматривается как жесткий. Важно отметить, что с увеличением скорости вращения и уменьшения значения допустимого дисбаланса, ротор, рассматриваемый ранее как жесткий, начинает проявлять свойства гибкого ротора и требует изменения в выборе метода балансировки.

Балансировка жестких роторов проводится методами, регламентируемыми ГОСТ ИСО 1940-1, а гибких роторов – ГОСТ 31320. Выбор того или иного метода определяется конфигурацией ротора и его частотой вращения.

СХЕМАТИЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РОТОРА	ОПИСАНИЕ РОТОРА		ОТНОШЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ К ЧАСТОТЕ ПЕРВОГО РЕЗОНАНСА	СТАНДАРТ И БАЛАНСИР
	Любой конфигурации		<0,3	ГОСТ ИСО 1940 одна или две плоскости кор
	Один жесткий диск на упругом валу, дисбаланс которого незначителен	Диск перпендикулярен к оси вала	Любое	ГОСТ ИСО 1940 одна плоскост коррекции
		Диск с осевым биением		ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции
	Два жестких диска на упругом валу, дисбаланс которого незначителен	Оба диска перпендикулярны к оси вала		ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции
		Диск (один или оба) с осевым биением	<0,7	ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции
	Более одного жесткого диска на упругом валу, дисбаланс которого незначителен		≥0,7	ГОСТ 31320, метод G
			<0,7	ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции
	Одна жесткая секция на упругом валу, дисбаланс которого незначителен		≥0,7	ГОСТ 31320, метод G
			Любое	ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции

	Две или более жестких секции на упругом валу, дисбаланс которого незначителен		<0,7	ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции
			≥0,7	ГОСТ 31320, метод G
	Цилиндрический барабан	Известное (равномерное) распределение дисбалансов	<0,6	ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции
			≥0,6	ГОСТ 31320, метод F
		Распределение дисбалансов неизвестно	<0,6	ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции
			≥0,6	ГОСТ 31320, метод G
	Ротор с барабанами, жесткими секциями, дисками		<0,6	ГОСТ ИСО 1940 две плоскости коррекции
	Цельный ротор		≥0,6	ГОСТ 31320, метод G
	Любая другая конфигурация		Неизвестно	ГОСТ 31320

Табл.1

Роторы большинства известных машин на рабочих частотах вращения можно рассматривать как жесткие и применять к ним методы динамической балансировки, регламентируемые ГОСТ ИСО 1940-1. Данные методы предусматривают устранение главного вектора дисбалансов– установкой корректирующей массы в одной плоскости коррекции, и устранение главного момента дисбалансов– распределением масс в двух плоскостях коррекции.

Что касается ГОСТ 31320, то как можно видеть из табл.1, он предусматривает несколько методов динамической балансировки:

Процедура	Виды машин (роторов)
Низкоскоростная балансировка	
A	Одноплоскостная балансировка
B	Двухплоскостная балансировка
C	Балансировка отдельных узлов перед сборкой
D	Последующая балансировка при контроле начального дисбала
E	Балансировка на этапах сборки
F	Балансировка в оптимальных плоскостях
Высокоскоростная балансировка	
G	Балансировка на нескольких скоростях вращения
H	Балансировка на рабочей скорости
I	Балансировка на фиксированной скорости

Современные методы динамической балансировки основаны на пропорциональности амплитуды и фазы вибрации действующему дисбалансу. Иными словами, измеряя вибрационные характеристики вращающегося ротора, можно точно определить величину и место установки корректирующих масс в выбранных плоскостях коррекции. Проиллюстрируем это на примере мобильного прибора- балансировщика BALTECH VP-3470 от компании «Балтех», который позволяет проводить динамическую балансировку в собственных опорах большинства роторных механизмов: дымососов, градирен, турбин, компрессоров, электродвигателей и т.д. Процедура балансировки прибором BALTECH VP-3470 занимает чуть более получаса и включает всего три этапа:

1. Определение исходной вибрации и фазы вибрации.
2. Установка пробного груза известной массы и получение данных по массе корректирующего груза и углу его установки.
3. Установка корректирующего груза и проведение контрольного замера уровня вибрации.

Балансировщик BALTECH VP-3470 позволяет проводить балансировку в 1-4-х плоскостях по 16 точкам контроля и комплектуется программным обеспечением BALTECH Expert, в котором сохраняются все тренды, протоколы и отчеты.

Комплект BALTECH VP-3470 является не единственным переносным прибором- балансировщиком компании «Балтех». Вместе с ним компания предлагает прибор ПРОТОН-Баланс-II и балансировочную систему на базе виброанализатора CSI 2140, а также программу (калькулятор) балансировки BALTECH-Balance.

Помимо вышеназванных приборов для балансировки в собственных опорах, компания «Балтех» производит широкую линейку горизонтальных, вертикальных и автоматических **балансировочных станков**, позволяющих отбалансировать роторы самых разных конфигураций и веса.

Балансировочные станки «Балтех» отличает высокая конструктивная прочность, полностью автоматизированная обработка результатов измерений, высокая точность балансировки – до 0.5 г*мм/кг.

Современные балансировочные приборы и станки «Балтех» подразумевают наличие профессиональных навыков по обращению с ними. Учитывая это, в Учебном центре компании «Балтех» регулярно проводится **Курс ТОР-102 «Динамическая балансировка»** по профессиональной подготовке технических специалистов к работе на станках и приборах «Балтех».

Видео балансировочные станки:

1. **Горизонтальный станок для балансировки роторов серии BALTECH HBM**
2. **Балансировочный станок BALTECH HBM-7105**

МЕТОДЫ БАЛАНСИРОВКИ

Статический или динамический начальный дисбаланс ротора уравновешивают с помощью различных методов балансировки, которые классифицируют:

1. по типу роторов: жестких, квазижестких, гибких;
2. по месту проведения балансировки: на станках или стендах или в собственных опорах;
3. по частоте вращения ротора: без вращения (статическая балансировка), низко- и высокочастотная динамическая балансировка;
4. по числу плоскостей коррекции;
5. по измеряемой физической величине (параметру): амплитуде и фазе вибрации, виброскорости, виброускорения и др.;
6. по способу корректировки масс: установке, съему, перемещению корректирующих масс;
7. по способу определения зависимости дисбалансов от измеряемых параметров: экспериментальному, расчетному, экспериментально-расчетному.

Статические методы балансировки с помощью различных механических или электромеханических приспособлений сегодня уже относятся к разряду архаичных, особенно на фоне на порядок более точных, простых и быстрых методов динамической балансировки. По этой причине рассмотрим более подробно только применимость тех или иных методов динамической балансировки в зависимости от существующих условий.

В первую очередь рассмотрим динамические методы балансировки жестких и квазижестких роторов, в качестве которых можно рассматривать роторы большинства технологического оборудования (насосов, дымососов, вентиляторов и т.д), вращающиеся на скоростях, значительно меньших частоты первого резонанса. Балансировка таких роторов проводится методами, рекомендуемыми ГОСТ ИСО 1940-1. В случае гибких роторов рекомендуется применять методы балансировки по ГОСТ 31320.

Схематичное представление ротора	Описание ротора		Отношение частоты вращения к частоте первого резонанса	Стандарт и метод балансировки
	Две и более жестких секции на упругом валу, дисбаланс которого незначителен		< 0,7	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,7	*ГОСТ 31320*, метод G
	Цилиндрический барабан	Известное (равномерное) распределение дисбалансов	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод F
		Распределение дисбалансов неизвестно	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Ротор с барабанами, жесткими секциями, дисками		< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
	Цельный ротор		≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Любая другая конфигурация		Неизвестно	*ГОСТ 31320*

Примечание 1 — Рекомендации основаны на типичных значениях допустимого и начального дисбалансов.

Примечание 2 — Рекомендации даны в предположении, что элементы ротора не были предварительно уравновешены.

Примечание 3 — Под частотой первого резонанса понимается резонанс изгибных колебаний ротора.

Примечание 4 — Низший резонанс может быть связан с одной из форм колебаний ротора как твердого тела на упругих опорах. Его не следует п тать с резонансной частотой изгибных колебаний.

	Одна жесткая секция на упругом валу, дисбаланс которого незначителен	Любое	*ГОСТ ИСО 1940*

Схематичное представление ротора	Описание ротора		Отношение частоты вращения к частоте первого резонанса	Стандарт и метод балансировки
	Две и более жестких секции на упругом валу, дисбаланс которого незначителен		< 0,7	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,7	*ГОСТ 31320*, метод G
	Цилиндрический барабан	Известное (равномерное) распределение дисбалансов	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод F
		Распределение дисбалансов неизвестно	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Ротор с барабанами, жесткими секциями, дисками		< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
	Цельный ротор		≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Любая другая конфигурация		Неизвестно	*ГОСТ 31320*

Примечание 1 — Рекомендации основаны на типичных значениях допустимого и начального дисбалансов.

Примечание 2 — Рекомендации даны в предположении, что элементы ротора не были предварительно уравновешены.

Примечание 3 — Под частотой первого резонанса понимается резонанс изгибных колебаний ротора.

Примечание 4 — Низший резонанс может быть связан с одной из форм колебаний ротора как твердого тела на упругих опорах. Его не следует п тать с резонансной частотой изгибных колебаний.

Табл.1

Как можно видеть из таблицы 1, ротор, рассматриваемый ранее как жесткий, с увеличением частоты вращения начинает проявлять качества гибкого ротора и должен быть уравновешен одним из методов балансировки, рекомендуемым ГОСТ 31320:

- **Метод балансировки A** – Одноплоскостная балансировка
  вариант реализации: в собственных опорах приборами «ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470
- **Метод балансировки B** – Двухплоскостная балансировка
  вариант реализации: на горизонтальном балансировочном станке BALTECH HBM-7100
- **Метод балансировки C** – Балансировка отдельных узлов перед сборкой
  вариант реализации: на специальном балансировочном станке BALTECH SBM-7400
- **Метод балансировки D** – Последующая балансировка при контроле начального дисбаланса
  вариант реализации: в собственных опорах приборами «ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470;
- **Метод балансировки E** – Балансировка на этапах сборки
  вариант реализации: на специальном балансировочном станке BALTECH SBM-7400 или горизонтальном станке BALTECH HBM-7100, в зависимости от геометрии ротора;
- **Метод балансировки F** – Балансировка в оптимальных плоскостях
  вариант реализации: на специальном балансировочном станке BALTECH SBM-7300;
- **Метод балансировки G** – Балансировка на нескольких скоростях вращения
  вариант реализации: на горизонтальном балансировочном станке серии BALTECH HBM-7100 с применением программы BALTECH Balance;
- **Метод балансировки H** – Балансировка на рабочей скорости
  вариант реализации: в собственных опорах приборами «ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470 или на горизонтальном балансировочном станке серии BALTECH HBM-7100;
- **Метод балансировки I** – Балансировка на фиксированной скорости
  вариант реализации: на специальном балансировочном станке BALTECH SBM-7300 или горизонтальном станке BALTECH HBM-7100, в зависимости от геометрии ротора.

Можно видеть, что с помощью балансировочных станков и приборов BALTECH можно реализовать любой метод балансировки роторов любой конфигурации и типа. Обучиться выбору оптимального метода балансировки применительно к существующим условиям можно на курсе **ТОР-102 «Динамическая балансировка» в Учебном центре компании Балтех.**

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ

Статическая и динамическая неуравновешенности роторов устраняются методами статической и динамической балансировки на соответствующем оборудовании для балансировки. В качестве примера приспособлений для балансировки можно назвать «призмы» («ножи») или «ролики», а также чуть более сложные электромеханические устройства для статической балансировки. Все они имеют право на существование, но современное оборудование для балансировки – это высокотехнологичные, компьютеризированные, многофункциональные, значительно более точные станки и приборы динамической балансировки от компании «Балтех».

С помощью приборов ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470 можно быстро и качественно провести одно-, двух- или многоплоскостную (до 4-х плоскостей прибором VP-3470) балансировку роторов в собственных опорах, без проведения демонтажных работ. Приборы ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470 позволяют с необходимой точностью минимизировать дисбаланс ротора, вызванный различными эксплуатационными причинами: образования сколов, налипания инородных частиц, естественного износа и др. Так, с помощью приборов-балансировщиков «Балтех » можно провести балансировку насосов, вентиляторов, дымососов и другого динамического оборудования большинства известных типов и конструктивных исполнений.

Оборудование для балансировки «Балтех», вместе с мобильными приборами-балансировщиками, включает обширную линейку дорезонансных балансировочных станков горизонтального, вертикального, автоматического и специального исполнения.

Станки «Балтех» применяются для балансировки новых роторов или на заключительном этапе ремонта роторов. Линейка балансировочных станков «Балтех» включает более 50 моделей, охватывающих роторы всех

конфигураций в диапазоне масс от 0.1 кг до 110 тонн. Станки «Балтех» отвечают требованиям ГОСТ 20076-2007 «Вибрация. Станки балансировочные» и отличаются:

- простотой и надежностью конструкции;
- уникальной конструкцией измерительных постов;
- возможностью балансировки в широком частотном диапазоне – от 60 об/мин до 1750 об/мин;
- проведением балансировки всего за два пуска.

Вместе с названными преимуществами, станки «Балтех» особо привлекательны по цене – их стоимость на 25-30% меньше аналогов других производителей.

По желанию заказчика специалисты сервисного центра «Балтех» проводят шеф-монтажные и пуско-наладочные работы, сервисное, гарантийное и постгарантийное обслуживание станков. Также покупателю балансировочного оборудования предоставляется бесплатное первичное обучение на курсе **ТОР-102 «Основы динамической балансировки. Выбор оборудования для балансировки».**

ПРАВИЛЬНАЯ БАЛАНСИРОВКА

Несмотря на то, что термин «правильная балансировка» носит больше обиходный характер и относится к балансировке колес автомобиля, попробуем применить его и к балансировке роторного оборудования.

Во-первых, правильная балансировка роторов – это достижение остаточного дисбаланса в соответствии с рекомендуемыми классами точности в зависимости от вида роторных машин:

Схематичное представление ротора	Описание ротора		Отношение частоты вращения к частоте первого резонанса	Стандарт и метод балансировки
	Две и более жестких секции на упругом валу, дисбаланс которого незначителен		< 0,7	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,7	*ГОСТ 31320*, метод G
	Цилиндрический барабан	Известное (равномерное) распределение дисбалансов	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод F
		Распределение дисбалансов неизвестно	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Ротор с барабанами, жесткими секциями, дисками		< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
	Цельный ротор		≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Любая другая конфигурация		Неизвестно	*ГОСТ 31320*

Примечание 1 — Рекомендации основаны на типичных значениях допустимого и начального дисбалансов.
Примечание 2 — Рекомендации даны в предположении, что элементы ротора не были предварительно уравновешены.
Примечание 3 — Под частотой первого резонанса понимается резонанс изгибных колебаний ротора.
Примечание 4 — Низший резонанс может быть связан с одной из форм колебаний ротора как твердого тела на упругих опорах. Его не следует п
тать с резонансной частотой изгибных колебаний.

	Одна жесткая секция на упругом валу, дисбаланс которого незначителен	Любое	*ГОСТ ИСО 1940*

Во-вторых, правильная балансировка роторов – это правильный выбор вида балансировки в зависимости от геометрии ротора. Так, для роторов с диаметром, значительно превышающем его длину (рабочие колеса, звездочки, шкивы, шлифовальные диски) можно ограничится проведением только статической балансировки, а для роторов, чья длина значительно больше диаметра, и в которых существенно влияние моментного и динамического дисбаланса, уже необходимо применять методы динамической балансировки.

В- третьих, «правильная балансировка» роторов – это правильный выбор того или иного метода балансировки в зависимости от типа ротора: жесткого, квазижесткого или гибкого. Жесткие и квазижесткие роторы рекомендуется балансировать методами, рекомендуемыми ГОСТ ИСО 1940-1, а гибкие роторы – рекомендуемыми ГОСТ 31320. Здесь необходимо помнить, что степень «гибкости» ротора напрямую зависит от его частоты вращения – тихоходные роторы, изначально позиционируемые как жесткие, с увеличением частоты вращения начинают проявлять качества гибких роторов, и уже требуют применения методов балансировки жестких роторов. Данный факт наглядно иллюстрируется следующей таблицей:

Схематичное представление ротора	Описание ротора		Отношение частоты вращения к частоте первого резонанса	Стандарт и метод балансировки
	Две и более жестких секции на упругом валу, дисбаланс которого незначителен		< 0,7	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,7	*ГОСТ 31320*, метод G
	Цилиндрический барабан	Известное (равномерное) распределение дисбалансов	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод F
		Распределение дисбалансов неизвестно	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Ротор с барабанами, жесткими секциями, дисками		< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
	Цельный ротор		≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Любая другая конфигурация		Неизвестно	*ГОСТ 31320*

Примечание 1 — Рекомендации основаны на типичных значениях допустимого и начального дисбалансов.

Примечание 2 — Рекомендации даны в предположении, что элементы ротора не были предварительно уравновешены.

Примечание 3 — Под частотой первого резонанса понимается резонанс изгибных колебаний ротора.

Примечание 4 — Низший резонанс может быть связан с одной из форм колебаний ротора как твердого тела на упругих опорах. Его не следует п тать с резонансной частотой изгибных колебаний.

	Одна жесткая секция на упругом валу, дисбаланс которого незначителен	Любое	*ГОСТ ИСО 1940*

Схематичное представление ротора	Описание ротора		Отношение частоты вращения к частоте первого резонанса	Стандарт и метод балансировки
	Две и более жестких секции на упругом валу, дисбаланс которого незначителен		< 0,7	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,7	*ГОСТ 31320*, метод G
	Цилиндрический барабан	Известное (равномерное) распределение дисбалансов	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод F
		Распределение дисбалансов неизвестно	< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
			≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Ротор с барабанами, жесткими секциями, дисками		< 0,6	*ГОСТ ИСО 1940-1*, две плоскости коррекц
	Цельный ротор		≥ 0,6	*ГОСТ 31320*, метод G
	Любая другая конфигурация		Неизвестно	*ГОСТ 31320*

Примечание 1 — Рекомендации основаны на типичных значениях допустимого и начального дисбалансов.

Примечание 2 — Рекомендации даны в предположении, что элементы ротора не были предварительно уравновешены.

Примечание 3 — Под частотой первого резонанса понимается резонанс изгибных колебаний ротора.

Примечание 4 — Низший резонанс может быть связан с одной из форм колебаний ротора как твердого тела на упругих опорах. Его не следует п тать с резонансной частотой изгибных колебаний.

В-четвертых, правильная динамическая балансировка роторов подразумевает осознанный выбор способа балансировки – на станке или в собственных опорах. Балансировка на станке обязательна для новых или отреставрированных роторов, а балансировка в собственных опорах проводится при невозможности или дороговизне демонтажных работ, невозможности остановки производства на длительное время и т.п.

В общем случае рекомендуется сначала отбалансировать ротор на станке, а затем в собственных опорах по месту установки оборудования.

В-пятых, правильная балансировка на станке или в собственных опорах обязательно включает точное и абсолютно безопасное проведение процедуры балансировки:

- выбор необходимого и достаточного количества плоскостей коррекции;
- правильный выбор частоты вращения ротора при балансировке;
- точную калибровку станка или приборов-балансировщиков;
- надежное крепление уравновешиваемых грузов и других требований ТБ;
- сохранение баз данных и отчетов и т.д.

Балансировочные станки и приборы BALTECH позволяют провести правильную балансировку роторов всех известных конфигураций, типов, типоразмеров и масс. Приобретая балансировочное оборудование BALTECH, вы гарантируете надежность и долговечность работы ваших роторных машин.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ БАЛАНСИРОВОЧНЫХ СТАНКОВ

Компания BALTECH – ведущий отечественный производитель балансировочных станков и приборов. На сегодняшний день линейка балансировочного оборудования BALTECH включает более 50 моделей дорезонансных станков горизонтального, вертикального, автоматического и специального исполнения, а также приборы для балансировки в собственных опорах (ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470) и интеллектуальные кольца для автоматической подбалансировки быстро изнашиваемых роторов.

Балансировочные станки BALTECH объединяют в себе все последние достижения технологий балансировки и производятся с учетом пожеланий потребителей.

Многочисленные положительные отзывы на балансировочный станок BALTECH любой модели подтверждают его соответствие современным требованиям эргономичности, простоты обслуживания и точности балансировки (до 5 мм*г/кг). При этом цена балансировочного станка BALTECH, как правило, на 15-25% ниже стоимости аналогов других производителей.

Балансировочные станки BALTECH производятся в серийных линиях, адаптированных под конкретный вид балансируемых деталей:

- роторы и рабочие колеса вентиляторов;
- якоря электродвигателей;
- цилиндры прессов;
- станочные и ходовые шпиндели;
- крыльчатки насосов и компрессоров;
- роторы турбин;
- карданные и коленчатые валы;
- шлифовальные круги;
- сепараторы и центрифуги;
- диски и зап/части;
- механизмы в сборе

В целом, **балансировочные станки BALTECH** охватывают роторы массой от 1 грамма до 110 тонн.

Процедура проведения измерений на станках BALTECH интуитивно понятна и требует участия всего одного оператора. Имея базовые знания в области динамической балансировки роторов, и следуя инструкции по

эксплуатации балансировочного станка, каждый, в минимально короткие сроки, может обучиться работе на станках BALTECH. Следование инструкции балансировочного станка обязательно, так это является гарантией долговечной эксплуатации станка, высокого качества измерений и 100% безопасности проведения работ.

Если ваша сфера бизнеса связана с обширным парком роторных машин, то вам просто необходимо купить балансировочный станок BALTECH нужной модели и, тем самым, решить все проблемы с балансировкой роторов. А подготовку операторов компания BALTECH также берет на себя – просто направьте технических специалистов вашей компании на учебный курс **ТОР-102 «Основы балансировки».**

Если же вам целесообразней проводить балансировку роторов с помощью сторонних организаций, то специалисты отдела технического сервиса BALTECH проведут качественную балансировку роторов, как на станках, так и в собственных опорах, с выездом к Заказчику.

РЕМОНТ БАЛАНСИРОВКИ

В процессе эксплуатации динамического оборудования в силу целого ряда причин (естественного износа, образования сколов, нарушения центровки, налипания инородных частиц, влияния условий эксплуатации и др.), рано или поздно, в роторе образуются неуравновешенные массы и возникает необходимость в ремонте балансировки.

Для ремонта балансировки роторов применяются дорезонансные и зарезонансные балансировочные станки, а также приборы для балансировки в собственных опорах. Во многих случаях экономически целесообразнее проводить ремонт балансировки в собственных опорах, без проведения демонтажных работ. Также балансировку в собственных опорах рекомендуется проводить в качестве финишной, после балансировки на станке. Рассмотрим более подробно общие вопросы ремонта балансировки в собственных опорах.

Задачей ремонта балансировки в собственных опорах является снижение уровня вибрации до значения, гарантирующего долговременную эксплуатацию динамической машины. Для решения этой задачи определяются значения корректирующих масс и места их установки на рабочие элементы (лопасти вентилятора и др.) через проведение измерений параметров вибрации вращающегося ротора. Иными словами, для реализации данного способа балансировки ротора необходимо:

- контролировать скорость вращения и фазу (путем установки светоотражающей метки на роторе);
- снимать данные с датчиков вибрации, установленные на подшипниковые опоры;
- проводить установку/снятие корректирующих масс на рабочем элементе.

При многоплоскостной балансировке в собственных опорах выбирают один из двух алгоритмов действий:

- **Первый:**

  1. Балансировка в первой плоскости и замер уровня вибрации после установки корректирующей массы.
  2. Если уровень вибрации не удовлетворяет необходимым требованиям, то переходят к балансировке в следующей плоскости, принимая предыдущее состояние за исходное (корректирующая масса в предыдущей плоскости остается закрепленной).
  3. Шаг 2 повторяют для всех последующих плоскостей до достижения необходимого уровня вибрации.

- **Второй:**

  1. Последовательная балансировка в каждой плоскости с установкой пробных масс.
  2. Расчет системы корректирующих масс сразу для всех плоскостей.
  3. Установка корректирующей массы в каждой плоскости.

Как первый, так и второй алгоритм действий обеспечивают одинаковый уровень точности балансировки. Первый – проще в исполнении, но требует большего количества уравновешивающих грузов, второй – более сложный, но позволяет оптимально подобрать систему уравновешивающих грузов.

Ремонт балансировки в собственных опорах проводится с помощью приборов ПРОТОН-Баланс-II или BALTECH VP-3470. Оба прибора сравнимы по цене и функциональности, могут работать не только в режиме динамической балансировки, но и в режиме виброметра, тахометра, фазометра и измерения температуры (только прибором ПРОТОН-Баланс-II).

Доступные по цене, многофункциональные, комплектуемые программой **BALTECH Expert** для ведения баз данных и составления отчетов, приборы ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470 являются незаменимыми при проведении работ в полевых условиях.

- Балансировка Видео ПРОТОН-БАЛАНС-II
- Балансировка Видео BALTECH VP-3470

Для обучения работе с приборами ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470 рекомендуется прохождение **Курса ТОР-102 «Динамическая балансировка в собственных опорах»** в Учебном центре компании «Балтех».

РЕМОНТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Любое современное производство – это целый комплекс больших или малых, ответственных и не очень, электродвигателей, генераторов и других электрических машин. Именно их устойчивая и надежная работа обеспечивает бесперебойную работу производства в целом.

К сожалению, из-за наличия движущихся деталей, все электродвигатели, генераторы и электрические машины требуют периодического текущего обслуживания и ремонта, и с меньшей периодичностью (раз в несколько лет) – ремонта капитального, подразумевающего полную разборку.

При капитальном ремонте электродвигателей, генераторов и электрических машин, наряду с устранением замеченных недостатков в их электрической части (перебандажировка обмоток статора, замена ослабевших клиньев и т. д.), проводится целый комплекс работ, связанных с устранением недостатков в механической части: замена подшипников скольжения или подшипниковых узлов в целом; центровка и балансировка роторов; установка соосности всех валов электрических машин. Ремонт электродвигателей, генераторов и электрических машин – одно из главных направлений деятельности компании «Балтех», располагающей для этого штатом сертифицированных специалистов и современными приборами собственного производства.

Только воспользовавшись услугами компании «Балтех», вы обеспечите бесперебойную и безаварийную работу вашего производства до следующего планового ремонта электродвигателей и электрических машин. Штатная работа электродвигателей и электрических машин, в пределах установленных допусков, гарантируется правильным проведением следующих работ:

- тепловизионного обследования статоров с помощью тепловизоров BALTECH TR-0110 или BALTECH TR-0140.
- отбраковке некачественных подшипников на стенде ПРОТОН-СПП при ремонте подшипниковых узлов;
- балансировке роторов непосредственно по месту установки с помощью переносных приборов-балансировщиков Протон-Баланс-II , BALTECH VP-3470, или комплектом на базе анализатора CSI 2140, или балансировке роторов на балансировочных станках «Балтех» в сервисном центре нашей компании;
- точной центровке (с разрешением до 0,001 мм) валов электрических машин с помощью системы лазерной центровки КВАНТ-ЛМ.

Особо отметим демократичность цен на наши услуги, которые полностью окупаются высоким качеством проводимых работ.

Плановый ремонт электродвигателей, генераторов и электрических машин – обязательный и необходимый комплекс мероприятий, проводимый с установленной периодичностью. Но зачастую, при особенно тяжелых режимах работы и экстремальных условиях окружающей среды (высоких или низких температурах, повышенной влажности, запыленности и т.д.) данный межремонтный интервал может быть уменьшен, за счет

более быстрого износа вращающихся деталей. И в этом случае очень важно с достаточной периодичностью проводить диагностику рабочего оборудования. К примеру, тепловизионная диагностика работающего электродвигателя сразу укажет вам места повышенного трения сопряженных деталей или на места ненадежного контакта в электрической части, а вибродиагностика – на разбалансировку или расцентровку роторов или валов.

Поэтому, вместе с размещением заказа на ремонт электродвигателей, генераторов и электрических машин, компания «Балтех» предлагает вам купить тепловизоры серии BALTECH TR и виброанализаторы серии BALTECH CSI, с помощью которых вы сможете самостоятельно проводить тепло- и вибродиагностику работающего электрооборудования прямо на рабочем месте.

Приборы тепло- и вибродиангостики BALTECH TR и BALTECH CSI в кратчайшие сроки окупаются предупрежденными аварийными остановами, отсутствием внеплановых ремонтных работ и отсутствием необходимости закупки дорогостоящих деталей.

Весомым преимуществом компании «Балтех» являются обучающие курсы, проводимые на регулярной основе в Учебном Центре «Балтех». Данные курсы позволяют профессионально овладеть всеми приборами «Балтех» и вы получаете возможность проводить в дальнейшем диагностику и ремонт электродвигателей, генераторов и электрических машин силами собственных сертифицированных специалистов. К вашим услугам обучающие курсы:

- КУРС ТОР-101: «Основы центровки и выверки геометрии роторных машин»
- КУРС ТОР-102: «Динамическая балансировка в собственных опорах»
- КУРС ТОР-103: «Основы вибрационной диагностики»
- КУРС ТОР-104: «Тепловизионный метод неразрушающего контроля»
- КУРС ПУ-201: «Надежность подшипниковых узлов».

Рекомендуем вам стать постоянным партнером компании «Балтех», что подразумевает:

- качественный и приоритетный ремонт парка вашего электрооборудования;
- возможность льготного приобретения приборов тепло- и вибродиагностики, включая и новинки;
- льготное (иногда бесплатное) обучение ваших технических специалистов в Учебном центре нашей компании.

Мы экономим ваше время и деньги – развивайте свой бизнес вместе с компанией «Балтех»!

СПОСОБ БАЛАНСИРОВКИ

Принцип действия всех балансировочных станков BALTECH и приборов –балансировщиков ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470 основан на определении уровня и фазы вибрации в выбранных точках измерения. По амплитуде вибрации определяют величину уравновешивающего груза, а по изменению фазы вибраций – угол установки уравновешиваемого груза в выбранной корректирующей плоскости.

А существует ли способ балансировки , в котором можно было обойтись без измерения фазы, имея в своем арсенале только один из простейших виброизмерительных приборов? Да, такой способ балансировки в собственных опорах существует и реализуется от с помощью виброметра, измеряющего хотя бы два из трех параметров –виброперемещение (**S**), виброскорость (**V**) или виброускорение (**a**).

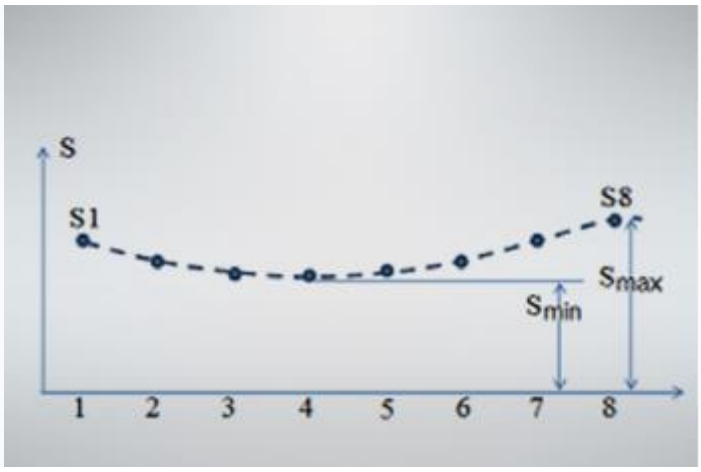
Для корректной реализации данного способа балансировки в собственных опорах необходимо, чтобы частотный диапазон виброметра охватывал частоту вращения ротора, и выполнялось главное условие – линейность колебательной системы (агрегата) на воздействие пробных масс, т.е.:

- Изменение величины пробного груза без изменения угла его установки приводит к пропорциональному изменению только величины вектора реакции колебательной системы, а его угловое положение остается неизменным;
- Изменение угла установки пробного груза вызывает только изменение углового положения (на тот же угол и в том же направлении) вектора реакции колебательной системы, при этом модуль вектора реакции остается неизменным.

С помощью данного способа балансировки проводится уравновешивание ротора в одной плоскости коррекции для одной точки контроля. В случае большего числа плоскостей – каждой плоскостью занимаются поочередно.

Прежде всего, определяют наличие начального дисбаланса ротора. Для этого измеряют начальные параметры вибрации и сравнивают их с расчетными, определяемыми по эмпирическим формулам: **S = 450.14 * v / f** и **V = 159.15 * a / f (**где **f** – частота вращения ротора). Если совпадение измеренных значений с расчетными находится в пределах 10-15%, то это указывает на наличие дисбаланса ротора. Далее ротор можно уравновесить любым из следующих бесфазных методов: «Обходом пробным грузом», «Методом последовательных приближений», «Методом амплитуд». Рассмотрим пошагово процедуру балансировки каждым методом:

- **Бесфазный метод – «Обход пробным грузом»:**
- Измеряют величину начальной вибрации, к примеру, виброперемещения **So** (мкм)
- Плоскость коррекции делят на несколько равных частей, для каждой из которых проводят измерения с пробным грузом на рабочей частоте ротора.
- По полученным значениям строят график зависимости виброперемещения от места установки пробного груза.

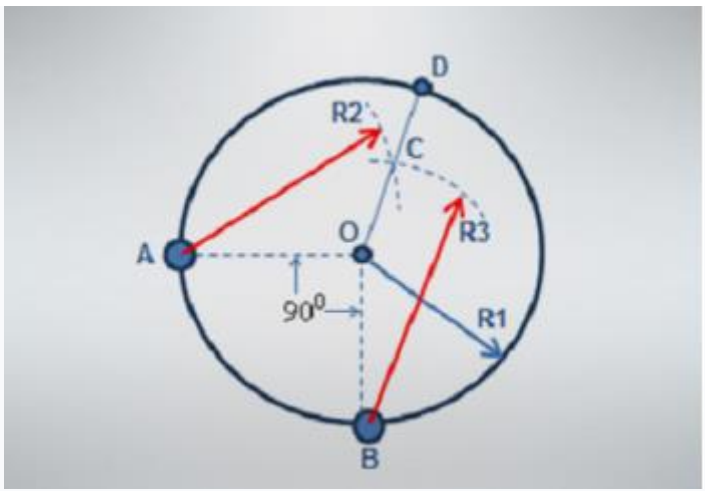


- Точка графика с минимальным значением виброперемещения (**Smin)** соответствует углу установки уравновешивающего груза (в нашем случае точка 4), а масса уравновешивающего груза рассчитывается по формуле: **Му=Мп*So/(So-Smin),** где: **Мп** – масса пробного груза; **Му –** уравновешиваемая масса.

- **Бесфазный «Метод последовательных приближений»:**
- Плоскость коррекции делится на четыре равных части, в каждой из которых проводится измерение любого параметра вибрации с пробным грузом.
- Определяется сектор с минимальным значением измеряемого параметра вибрации, далее этот сектор делится на две части, для каждой из которых проводят измерения с пробным грузом.
- Шаг 2 повторяют до тех пор, пока не будет достигнута необходимая точность установки уравновешиваемого груза, массу которого подбирают опытным путем.

Как можно видеть, метод последовательных приближений очень трудоемок и на практике применяется редко.

- **Бесфазный метод – «Метод амплитуд»**
- Измеряют величину начального виброперемещения **So** и переходят к графическим построениям на бумаге: с помощью циркуля описывают окружность радиусом **R1,** пропорциональным виброперемещению **So.**



- На полученной окружности выбирают любые две взаимно перпендикулярные точки А и В, в которых проводят измерения виброперемещения с одной и той же пробной массой.
- По полученным значениям **Sa** и **Sb** проводят пропорциональные им радиусы **R2** и **R3**, из центров в точках А и В соответственно. Данные радиусы пересекутся в точке С, через которую необходимо провести прямую, соединяющую ее с центром О. Данная прямая пересечется с начальной окружностью в т.D, которая и указывает место установки уравновешиваемой массы **Му.**
- Величину уравновешиваемой массы **Му** рассчитывают по формуле: **Му=Мп*R1/L,** где **L** – длина отрезка ОС.

Данный метод балансировки обеспечивает неплохую точность и, благодар малой трудоемкости, находит частое применение на практике.
В бесфазных методах амплитуд и обхода грузом уравновешиваемая масса **Му** рассчитывается по соответствующим формулам через величину пробной массы **Мп,** которую рекомендуется подбирать по формуле: **Мп=804*P*A/R*N** (грамм), где: **P** - масса ротора, кг; **A** - уровень вибрации в точке, выбранной для балансировки, мм/с; **R** – радиус установки грузов в плоскости коррекции, см; **N** - обороты ротора, об/мин.
Как можно видеть, способы бесфазной балансировки ротора в собственных опорах включают многие пуски, ручные вычисления и графические построения и поэтому не составляют конкуренцию амплитудно-фазовой балансировке с помощью приборов ПРОТОН-Баланс-II и **BALTECH VP-3470**. Бесфазная балансировка оправдана лишь при отсутствии амплитудно-фазовых приборов-балансировщиков BALTECH и, пусть чуть менее точно, более трудоемко и дольше, но может быть реализована с помощью виброметров BALTECH VP-3405 или BALTECH VP-3410.
Для обучения работе с виброметрами и приборами- балансировщиками BALTECH рекомендуется прохождение курсов:

- **ТОР-102 «Динамическая балансировка»**
- **ТОР-103 «Основы вибродиагностики»**

СРЕДСТВА БАЛАНСИРОВКИ

Компания «Балтех» является ведущим российским производителем лучших средств балансировки:

- Дорезонансных станков **горизонтального**, **вертикального**, **автоматического** и специального типа.
- Переносных приборов ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470 для балансировки в собственных опорах.

Но линейка балансировочного оборудования компании «Балтех» не ограничивается только станками и мобильными приборами, а включает оригинальное и эффективное средство балансировки – активные балансировочные кольца BALTECH.

Активные балансировочные кольца BALTECH никак не заменяют станки и приборы BALTECH, и являются дополнительным средством балансировки роторов, подверженных выработке и износу во время эксплуатации.

Принцип действия активных колец достаточно прост и основан на контроле уровня вибрации вращающегося ротора: кольца BALTECH (с заложенным дисбалансом) стационарно устанавливаются на механизм и по сигналу от измерительного блока проворачиваются друг относительно друга на угол, необходимый для компенсации появившегося дисбаланса ротора. Если поворотом колец не удается скомпенсировать появившийся дисбаланс до требуемого значения, то выдается звуковой и световой сигнал и происходит автоматическое выключение машины.
По техническому способу реализации активные кольца BALTECH подразделяются на: механические, гидравлические и электромагнитные. Электромагнитные кольца BALTECH являются наименее инертными на отклик изменению дисбаланса ротора и предназначены для автоматической подбалансировки самого высоко-оборотистого роторного оборудования.

Как можно видеть, балансировочные кольца BALTECH являются весьма удобным и эффективным дополнительным средством балансировки, в целом же, специалисты отдела технического сервиса «Балтех» рекомендуют проводить балансировку роторов в следующей последовательности: сначала на балансировочном станке BALTECH, далее – в собственных опорах с помощью приборов ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470 , и на последнем этапе– стационарная установка балансировочных колец. Обучиться установке и обслуживанию активных колец BALTECH вы можете на курсе **ТОР-102 « Средства балансировки роторов динамических машин».**

СТАНОК ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ ВАЛОВ

Вал – важнейшая деталь машин и механизмов, вдоль продольной оси которого передается вращающий или крутящий момент. В большинстве случаев встречаются валы с насаженными на них деталями, непосредственно участвующими в передаче вращающего момента (шкивы, зубчатые колеса, звездочки цепных передач и т.п.).

В идеальном варианте ось вращения вала должна совпадать с одной из главных осей инерции, но на практике, в силу целого ряда технологических и эксплуатационных причин, в валу могут наблюдаться неуравновешенные массы, ведущие к смещению главной оси инерции от оси вращения. По характеру этого смещения принято различать:

- статическую неуравновешенность, когда оси вращения и инерции параллельны друг другу, но смещены на некоторое расстояние друг от друга;
- моментную неуравновешенность, когда оси инерции и вращения пересекаются в центре масс под некоторым углом друг к другу;
- динамическую неуравновешенность, когда оси инерции и вращения пересекаются вне центра масс или перекрещиваются в пространстве.

Мерой неуравновешенности вала принято считать дисбаланс, равный произведению неуравновешенной массы на ее эксцентриситет – радиус-вектор центра этой массы относительно оси вращения. Статическая неуравновешенность характеризуется главным вектором дисбалансов, моментная – главным моментом дисбалансов, динамическая – и главным вектором дисбалансов, и главным моментом дисбалансов. В соответствии с характером неуравновешенности и различают виды балансировки –статическую, моментную, динамическую, направленные на уменьшение до допустимых пределов главного вектора и главного момента дисбалансов.

Невозможно переоценить важность проведения балансировки вала, так как его дисбаланс, в большинстве случаев, является причиной возникновения значительных вибраций, которые могут вызвать изгиб вала и полное разрушение подшипниковых опор и других деталей машины.

Если же говорить о выборе вида балансировки – статической или динамической, то ответ однозначен: по возможности, необходимо производить динамическую балансировку, при которой достигается значительно более высокая точность балансировки.

Динамическая балансировка производится на специальных станках для балансировки валов. Наиболее удобны для балансировки валов горизонтальные дорезонансные станки серии **BALTECH HBM-7100**, предназначенные для валов всех возможных типоразмеров массой от 0,1кг до 95 тонн. Рассмотрим устройство и функциональные возможности станков данной серии на примере модели BALTECH HBM-7130TNK:

Здесь: 1) опорная рама; 2) подвижные роликовые опоры с вибродатчиками; 3) привод; 4) фотоэлектрическая головка; 5) терминал управления.

Процедура проведений измерений на станке для балансировки валов BALTECH HBM-7130TNK:

- установка и закрепление вала в роликовых опорах;
- включение терминала управления, ввод данных по геометрии вала в программу и запуск привода;
- съем данных по величине и углу установки корректирующих масс при достижении необходимой скорости вращения;
- установка/снятие корректирующих масс;
- контрольный пуск.

На станках для балансировки валов серии BALTECH HBM-7100 удается снизить удельный дисбаланс до 0.5 г*мм/кг.
После балансировки на станке для балансировки валов необходимо провести финишную балансировку вала в собственных опорах приборами ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470. В идеальном же варианте, в случае вала с закрепленными деталями, необходимо провести целую серию балансировок: сначала на станке по отдельности отбалансировать вал и детали, затем последовательно провести балансировку вала с каждой новой устанавливаемой деталью, и наконец, провести балансировку в собственных опорах. Несмотря на относительную простоту работы с балансировочными станками и приборами BALTECH, правильный выбор того или иного метода балансировки и правильная интерпретация результатов измерений подразумевают глубокие знания теории балансировки. Получить их можно на курсе **ТОР-102 «Динамическая балансировка валов»** в Учебном центре компании «Балтех».

СТАНОК ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ

Балансировка – обязательная финишная процедура при изготовлении или ремонте ротора. Балансировка ротора эффективно устраняет все неуравновешенности ротора (статическую, моментную, динамическую), позволяя добиться остаточного дисбаланса в пределах установленных допусков.

Напомним, что статическая неуравновешенность ротора устраняется методами статической балансировки на достаточно простых приспособлениях – «ножах», «роликах» и т.д. К сожалению, данные методы обладают недостаточно высокой точностью, к тому же они не устраняют динамическую неуравновешенность ротора. По этим причинам предпочтительней балансировка роторов в динамическом режиме.

Динамическая балансировка роторов проводится на современных **станках для балансировки**, которые различают по направлению оси вращения испытуемого ротора – на горизонтальные и вертикальные, а также по частоте вращения ротора – на дорезонансные (тихоходные), резонансные и зарезонансные (быстроходные). Частота вращения ротора на дорезонансном станке существенно меньше собственной резонансной частоты измерительной системы с ротором, и такие станки оптимальны для балансировки крупногабаритных роторов, имеющих большие начальные дисбалансы. В случае легких и малогабаритных роторов более предпочтительны зарезонансные станки, в которых скорость вращения ротора превышает собственную резонансную частоту системы. К недостаткам зарезонансных станков следует отнести значительные нагрузки на измерительные опоры и большую амплитуду колебаний при значительном начальном дисбалансе. Резонансные станки сегодня не производятся, так как не обеспечивают необходимой точности измерений и для них характерны все основные недостатки зарезонансных станков.

Рассмотрим устройство станка для балансировки на примере стандартного **горизонтального балансировочного станка**, который состоит из:

- станины (рамы);
- двух опор для крепления балансируемого ротора, имеющие возможность перемещения по станине для подстройки по длине ротора;
- привода с ременной или карданной передачей;
- измерительных датчиков вибрации, смонтированных на опорах;
- тахометра (энкодера) для контроля частоты вращения ротора;
- вычислительного компьютерного блока с дисплеем и программным обеспечением;
- вспомогательной оснастки для крепления роторов различного конструктивного исполнения.

Процедура балансировки на любом станке для балансировки валов и роторов включает следующие этапы:

- установку балансируемого ротора на станок и его закрепление в соответствии с требованиями безопасности;
- разгон ротора до рабочей скорости;
- съем данных по амплитуде и фазе вибраций и автоматическое определение величины и угла установки корректирующих масс;
- установку/высверливание корректирующих масс;
- финишное контрольное измерение уровня вибрации.

Станок для балансировки – какой лучше купить? По мнению независимых экспертов, лучшими отечественными станками для балансировки являются дорезонансные балансировочные станки компании «Балтех» горизонтального, вертикального, автоматического и специального исполнения. Обеспечивая высокую точность балансировки (менее 0.5 г*мм/кг), балансировочные станки «Балтех» оптимальны по функциональности, качеству и цене. Линейка балансировочных станков «Балтех» включает более 50 моделей, предназначенных для роторов самых различных конструкций, диаметров и масс – от одного грамма до десятков тонн. В компании разработаны серии станков для следующих типов роторов:

- рабочих колес вентиляторов;
- якорей электродвигателей;
- цилиндров прессов;
- станочных и ходовых шпинделей;
- крыльчаток насосов и компрессоров;
- турбоагрегатов;
- карданных и коленчатых валов;
- шлифовальных кругов;
- сепараторов, центрифуг;
- дисков и зап/частей;

- механизмов в сборе.

Более того, компания «Балтех» принимает заказы на изготовление станков для балансировки, не входящих в стандартные спецификации.

Работа на станках «Балтех» исключительно проста и понятна, но это только если вы являетесь опытным специалистом-балансировщиком. Получить необходимую теоретическую подготовку и навыки работы на станках BALTECH различных типов вы можете, пройдя профессиональную подготовку на **Курсе TOP-102 «Динамическая балансировка»** в Учебном центре компании «Балтех» (расписание курса приведено **здесь**).

Видео балансировочные станки:

- **Горизонтальный станок для балансировки роторов серии BALTECH HBM**
- **Балансировочный станок BALTECH HBM-7105**

СТАТИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА

КВ теории балансировки различают три вида неуравновешенности роторов: статическую, моментную и динамическую. В общем случае, который наиболее часто встречается на практике, в реально существующем роторе могут наблюдаться все виды неуравновешенностей, вносящих тот или иной вклад в параметры вибраций, в зависимости от частоты вращения ротора и его геометрических параметров.

Так, для тихоходных роторов с диаметром (**d**), значительно превышающем его длину (**l**), моментной и динамической неуравновешенностью можно пренебречь и заниматься устранением только статической неуравновешенности – статической балансировкой ротора.

Напомним, что при статической неуравновешенности оси вращения и одной из главных осей инерции параллельны, но смещены на некоторое расстояние (**e**) друг от друга за счет наличия неуравновешенных масс. Мерой статической неуравновешенности ротора принято считать главный вектор дисбалансов (**D**), равный произведению массы ротора (**m**) на его эксцентриситет (**e**): **D= m*e**

Устранение статической неуравновешенности проводится методами статической балансировки, в которых определяется величина главного вектора дисбалансов и проводится его уравновешивание с помощью одной корректирующей массы в одной корректирующей плоскости (как правило, в плоскости самой детали).

В общем случае необходимо проводить динамическую балансировку ротора, но для тихоходных роторов, с диаметром в 5 и более раз превышающим длину, можно ограничиться проведением только статической балансировки. В эту категорию роторов входят рабочие колеса насосов, вентиляторов, дымососов, шлифовальные круги, звездочки и т.д.

Процедура любого метода статической балансировки включает в себя следующие этапы:

- определение местоположения центра тяжести;
- определение массы противовеса и радиуса его установки;
- установка корректирующего груза-противовеса или высверливание (или фрезерование) избыточной массы.

Существует достаточно много, как простых, так и более сложных, механических устройств статической балансировки рабочих колес или дисков. Среди них: параллельные призмы или ножи; двухдисковые (роликовые) устройства; балансировочные весы и др.

Для общего понимания процедуры статической балансировки, рассмотрим ее этапы на примере рабочего колеса вентилятора и простейшего устройства из параллельных призм или ножей:

- Балансируемое колесо насаживают на вал и дают свободно прокатиться по ножам. После остановки колеса отмечают самую «тяжелую» точку колеса, которая, с поправкой на силы трения, соответствует самому низкому положению центра масс.
- Для исключения влияния сил трения, повторяют этап №1, отпуская колесо в обратную сторону.

- Из найденных двух положений колеса определяют среднее положение «тяжелой» точки, соответствующее истинному положению центра масс.
- Уравновешивают колесо простым подбором корректирующего груза, устанавливаемого в направлении 180° от найденного положения «тяжелой» точки. Или же определяют величину корректирующего груза (**Мк**) с помощью пробного груза (**Мп**), который устанавливают под прямым углом к «тяжелой» точке и отмечают угол поворота колеса Θ:

Мк = Мп*ctgΘ

- Для тяжелых колес, когда трудно точно определить положение центра масс за счет существенных сил трения, всю поверхность колеса делят на 12 и более равных секторов, для каждого из которых подбирают пробную массу **Мпр**, приводящую колесо в движение. Далее по точке максимума зависимости **Мп** от углового положения колеса, определяют угол установки корректирующей массы **Мк,** а ее величину рассчитывают по формуле:

Мк = (Мп max + Мп min)/2

Данный метод носит название «метода кругового обхода» и, как можно видеть, является достаточно долгим и трудоемким.

- После определения места установки и величины корректирующего груза-противовеса, его закрепляют на колесе механическим способом или электросваркой. В некоторых случаях, вместо навешивания корректирующей массы, проводят высверливание или фрезерование «тяжелой» стороны колеса.

Качество балансировки определяется минимально достижимой величиной остаточного дисбаланса, и наибольшую точность статической балансировки обеспечивают балансировочные весы, для которых удельный остаточный дисбаланс составляет 5-10 мкм. Другие методы статической балансировки обладают еще меньшей точностью: «ножи» – 10÷30 мкм, «ролики»– 15÷25 мкм.

Как можно видеть из приведенных цифр, традиционные механические методы статической балансировки не обеспечивают точность, соответствующую современным требованиям, и во многих случаях предпочтительней проводить динамическую балансировку, дающую на порядок более высокую точность.

Более того, современные методы и инструментарий динамической балансировки полностью исключают ручные вычисления, обеспечивают высокую скорость измерений и контроль многих других параметров роторных машин. В качестве наглядного примера преимуществ современных приборов динамической балансировки посмотрите **видео**, посвященное мобильному прибору-балансировщику ПРОТОН-БАЛАНС-II компании «Балтех». Профессионально овладеть данным прибором и другими средствами динамической балансировки от компании «Балтех» можно на **Курсе ТОР-102 «Динамическая балансировка в собственных опорах»**, по окончанию которого выдается сертификат, дающий право на проведение данного вида работ.

СТЕНД БАЛАНСИРОВКИ

Стенд балансировки – электромеханическое устройство, предназначенное для динамической балансировки роторов. В зависимости от массо-габаритных размеров и конфигурации балансируемого ротора, стенды могут конструктивно отличаться друг от друга, но всех их объединяет принцип определения дисбаланса ротора путем измерений амплитуды и фазы вибрации в выбранных плоскостях коррекции.

Стенд балансировки применяется для балансировки новых роторов или при ремонте динамического агрегата, предусматривающего демонтаж ротора. Во многих случаях экономически выгодней проводить балансировку в собственных опорах с помощью переносных приборов-балансировщиков, таких как **ПРОТОН-Баланс-II** или **BALTECH VP-3470**.

Рассмотрим более подробно устройство и процедуру балансировки роторов на примере вертикального балансировочного стенда (станка) BALTECH VBM-7216, предназначенного для балансировки рабочих колес вентиляторов, дисков, шкивов и других деталей, не имеющих собственных шеек вала, а также для балансировки режущего инструмента и патронов.

Стенд балансировки BALTECH VBM-7216, предназначенный для одноплоскостной балансировки роторов весом – до 16 кг и высотой – до 160 мм, состоит из следующих основных частей:

1. Станины.
2. Шпинделя, приводимого во вращение вокруг вертикальной оси с помощью асинхронного двигателя с частотным преобразователем.
3. Комплекта измерительных датчиков.
4. Компьютерного блока с дисплеем, оснащенного программой-калькулятором BALTECH SW-07

Процедура балансировки на стенде BALTECH VBM-7216 включает следующие простые операции:

1. Ввод основных геометрических параметров ротора.
2. Запуск привода и автоматический вывод на дисплей величины и угла установки уравновешивающей массы.
3. Установку/снятие уравновешивающей массы.

Процедура балансировки одного ротора занимает всего несколько минут, также легко и быстро стенд балансировки BALTECH VBM-7216 перенастраивается на другие типы роторов. Минимально достижимый удельный остаточный дисбаланс – до 3 г*мм/кг.

Как можно видеть, стенд балансировки BALTECH VBM-7216 является оптимальным вариантом балансировочного оборудования для небольших цехов и мелкосерийных производств.

Особо отметим, что при покупке стенда проводится бесплатное обучение технического персонала на **Курсе ТОР-102 «Динамическая балансировка»** в Учебном центре компании БАЛТЕХ .

СТЕНД ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ КОЛЕС

Любое колесо в теории балансировки рассматривается как разновидность ротора с диаметром, превышающим его длину. Будь то колесо автомобиля, рабочее колесо вентилятора, шкив или шлифовальный круг – все они подлежат балансировке одними и теми же методами, исключая нюансы практической реализации, связанные с конструктивными и технологическими особенностями, как самого колеса, так и с особенностями роторной машины.

Многие из нас автомобилисты и всем нам хорошо знаком стенд для балансировки колес, как и сама процедура балансировки: разгон колеса во вращение до определенной скорости, съем данных с дисплея по величине и углу установки уравновешиваемых грузиков, установка грузиков с наружной и внутренней стороны обода колеса в соответствии с цифрами на дисплее. Стенд для балансировки автомобильных колес является лишь наиболее распостраненной разновидностью балансировочного оборудования, на самом же деле, для балансировки колес промышленных динамических машин необходимо применять значительно более точные балансировочные станки и многофункциональные приборы-балансировщики компании BALTECH.

Компания «Балтех» является производителем высокоточных стендов для балансировки колес серий BALTECH SBM-7400 и BALTECH VBM-7200. Вертикальные стенды BALTECH VBM-7200 предназначены для балансировки колес различного типа: рабочих колес вентиляторов, насосов, тормозных и шлифовальных дисков, шкивов, ступеней турбин, ж/д колес и др., а горизонтальные стенды BALTECH SBM-7400 специально разработаны для балансировки рабочих колес вентиляторов различных типов.

Процедура балансировки на стендах для балансировки колес SBM-7400 и SBM-7200 выполняется одним оператором и занимает считанные минуты. В программу стенда заносятся данные по конфигурации колеса, запускается привод и при достижении необходимых оборотов автоматически измеряются данные по массе и углу установки/снятия уравновешивающего груза. С помощью стендов SBM-7400 и SBM-7200 удается снизить удельный дисбаланс до 4 г*мм/кг, и это при коэффициенте уменьшения дисбаланса более 90%.

В случае колес с особо большим диаметром, его балансировку проводят на горизонтальных балансировочных станках BALTECH HBM. Процедура балансировки на станках BALTECH HBM практически ничем не отличается

от процедуры балансировки на стендах SBM-7400 и SBM-7200, исключая лишь способ установки колеса – в сборе с валом в роликовые опоры, а не на шпиндель.

Вместе со стендами для балансировки колес BALTECH SBM-7400 и BALTECH VBM-7200 и станками BALTECH HBM, компания «Балтех» выпускает многофункциональные приборы для балансировки в собственных опорах ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470. Применение данных приборов многократно окупается отсутствием необходимости в демонтаже роторной машины, высокой скоростью проведения работ и высокой точностью балансировки.
Если вы еще не успели купить приборы ПРОТОН-Баланс-II и BALTECH VP-3470, то специалисты отдела технического сервиса «Балтех» быстро и качественно отбалансируют любое ваше роторное оборудование, где бы оно не находилось – в любой точке РФ.

СТОИМОСТЬ БАЛАНСИРОВКИ

Правильная и своевременная балансировка роторов – залог долговечной и надежной работы роторного оборудования. Если параметры вибраций вращающегося ротора начинают превышать допустимые значения, то это указывает на появление дисбалансов в роторе и необходимость проведения его динамической балансировки.

А сколько стоит балансировка роторов в компании «БАЛТЕХ»? Данный вопрос актуален для многих, особенно для владельцев обширного парка роторных машин.

Ценообразование балансировки роторов в компании «БАЛТЕХ» учитывает целый комплекс факторов, главные из которых:

- во-первых, стоимость балансировки зависит от выбора способа балансировки – на балансировочных станках BALTECH или в собственных опорах по месту установки роторного оборудования с помощью мобильных приборов-балансировщиков "ПРОТОН-Баланс-II" и BALTECH VP-3470 ;
- во-вторых, стоимость балансировки зависит от общего времени проведения процедуры балансировки, которая, в свою очередь, определяется:
- физическими параметрами ротора;
- выбором метода балансировки и количеством плоскостей коррекции и точек контроля;
- требуемой точностью балансировки;
- количеством балансируемых деталей.
- в-третьих, в стоимость балансировки включается:
- оплата труда операторов;
- амортизация оборудования;
- затраты электроэнергии;
- стоимость расходных уравновешиваемых грузов.

К примеру, стоимость балансировки 100 стандартных шлифовальных кругов на вертикальном балансировочном станке серии BALTECH VBM-7200 составляет порядка 1600 рублей, а стоимость балансировки в собственных опорах с выездом к заказчику приведена в таблице:

Вид технического обслуживания	**количество механизмов**	**стоимость, руб**	**Примечание**
Балансировка типовых механизмов	1	от 2990 (стоимость работ уточняется по техническому заданию)	Базовая цена учитывает затраты на балансировку до 3-х плоскостей.
Балансировка типовых механизмов	1	от 29 900(стоимость работ уточняется	Базовая цена учитывает затраты на

		по техническому заданию)	балансировку до 16-ти плоскостей.

Услуги по балансировке роторов выполняются высококвалифицированными специалистами **отдела технического сервиса «БАЛТЕХ»,** которые гарантируют высокое качество балансировочных работ.

При наличии большого парка роторных машин во многих случаях экономически выгодней не пользоваться услугами сторонних организаций, а проводить балансировку роторов собственными силами. Для этого вам необходимо купить балансировочный станок BALTECH нужной модели и один из приборов "ПРОТОН-Баланс-II" или BALTECH VP-3470 и направить своих технических специалистов на обучающий курс **ТОР-102 «Основы балансировки».**

ТЕХНОЛОГИИ БАЛАНСИРОВКИ

Современные требования к надежности динамического оборудования стимулируют развитие технологий балансировки. Еще в недалеком прошлом доминировали всевозможные механические или электромеханические приспособления для балансировки, а сегодня они находят применение только в рамках мелких кустарных производств, уступив место высокотехнологичным, максимально компьютеризированным, высокоточным станкам, стендам и приборам для балансировки.

Постоянно развивающиеся технологии балансировки сопровождаются внедрением самых современных достижений приборостроения, средств автоматизации, инновационных конструктивных решений и, конечно же, инновационных программ.

Технологии балансировки компании «БАЛТЕХ» преследуют следующие важнейшие цели: достижение максимальной точности балансировки и повторяемости результатов; максимальный охват роторов по габаритам, конструкции и весу; простоту, быстроту и безопасность проведения процедуры балансировки; простоту обслуживания и долговечность эксплуатации балансировочного оборудования.

Современные технологии балансировки в компании «БАЛТЕХ» реализуются через балансировочные станки и приборы («ПРОТОН-Баланс-II» и BALTECH VP-3470), которые по праву считаются одними из лучших по соотношению «цена/ качество/функциональность». Такой высокий рейтинг продукции «БАЛТЕХ» в сегменте промышленного балансировочного оборудования во многом определен внедрением программы BALTECH-Balance. Данная программа является оригинальной разработкой специалистов компании «БАЛТЕХ» и позволяет проводить многоплоскостную и многоточечную балансировку с измерителями амплитуды и фазы вибрации любых производителей.

Отличительные особенности программы BALTECH-Balance:

- до 4-х плоскостей и 16-ти точек измерений, опционально по заказу: до 128 плоскостей и 256 точек измерений;
- удаление/добавление плоскостей и точек с мгновенным перерасчетом;
- функция «подбалансировки» корректирующих масс без установки пробных грузов;
- расчет (через ДКВ, без установки пробных масс) корректирующих грузов по результатам предыдущей балансировки;
- расчет в зависимости от условий проведения балансировки: с удалением или без удаления пробных грузов, отчет угла по/против направления вращения ротора;
- дополнительные опции: оценка величины пробной массы; разделение /суммирование векторов дисбаланса;
- автоматическое сохранение протокола балансировки в файле, экспорт его на ПК.

Помимо балансировочных станков и приборов, технологии балансировки компании «БАЛТЕХ» включают и автоматические интеллектуальные балансировочные кольца, которые устанавливаются на механизм в стационарном режиме и автоматически уравновешивают дисбаланс, появившийся за счет износа и выработки ротора.

Чтобы ближе ознакомиться с технологиями балансировки компании «БАЛТЕХ» и быть в курсе всех новинок балансировочного оборудования, рекомендуем вам прослушать курс **ТОР-102 «Технологии балансировки»** в нашем Учебном центре.