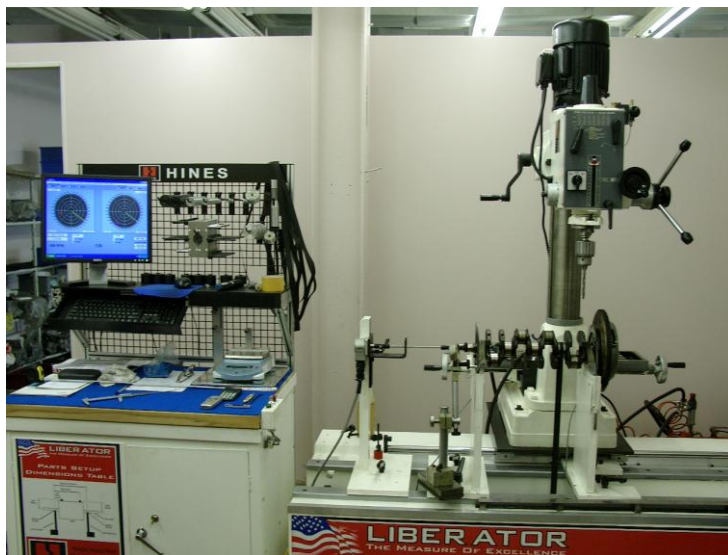


НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

Технология ремонта машин

БАЛАНСИРОВКА УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Методические указания
к лабораторно-практической работе**



Новосибирск 2021

УДК 631.372, 621.43
ББК 39.33

Кафедра надежности и ремонта машин

Составители: канд. техн. наук, доц. *В.Н. Хрянин*,
ст. преп. *А.П. Илясов*,
ст. преп. *Н.И. Зенкова*

Рецензент канд. техн. наук, доц. *А.А. Долгушин*

Технология ремонта машин. Балансировка узлов и деталей машин: метод. указания по вып. лабор.-практ. работы / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: В.Н. Хрянин, А.П. Илясов, Н.И. Зенкова. 2 - е изд., перераб. и доп. – Новосибирск, 2021.– 31 с.

В методических указаниях представлены необходимые материалы и рекомендации по выбору метода балансировки вращающихся узлов и деталей машин, приведены последовательность и основные операции технологического процесса статической и динамической балансировок основных деталей.

Предназначены для выполнения лабораторно-практической работы студентами очной и заочной форм обучения, обучающихся по направлениям подготовки Агроинженерия, Эксплуатация транспортных и транспортно-технологических комплексов, Профессиональное обучения (по отраслям).

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института НГАУ (протокол № 8 от 19 января 2021 г.).

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2021
© Инженерный институт, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания выполнены в рамках рабочих программ по дисциплинам «Технология ремонта машин» и «Технологии реновации деталей машин».

Цель лабораторно – практической работы: изучить причины, вызывающие дисбаланс деталей машин; усвоить методы балансировки узлов и деталей; ознакомиться с принципом работы и устройством балансировочных машин и приспособлений; приобрести практические навыки по балансировке деталей машин (маховиков, колес, коленчатых валов и др.).

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1. Станок для динамической балансировки деталей модели КИ-4274, электродрель, сверла.
2. Стенд для динамической балансировки колес автомобилей модели G-111N, набор грузов.
3. Роликовое приспособление для статического уравнивания деталей.
4. Детали для балансировки: абразивный круг со ступицей, коленчатый вал, маховик и др.

ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

1. Изучить теорию уравнивания вращающихся масс.
2. Ознакомиться с устройством и принципом работы балансировочных машин и приспособлений.
3. Произвести статическую балансировку на вращающихся опорах и динамическую балансировку на стенде G-111N или станке КИ-4274 по заданию преподавателя (учебного мастера).
4. Определить значение и угловое положение неуравновешенных масс детали.
5. Сдать рабочее место учебному мастеру.
6. Изучить технику безопасности при выполнении лабораторной работы.
7. Составить отчет о работе и сдать преподавателю.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ*

40 мин – работа с подгруппой. Вводная информация преподавателя: постановка задачи, ознакомление с общими вопросами по балансировке вращающихся узлов и деталей, связанных с особенностью конструкции узлов и технологическими процессами изготовления деталей. Изучение особенностей проявления неуравновешивания узлов и деталей и существующих способов балансировки. Правила техники безопасности при проведении балансировочных работ.

***40 мин – 1-е звено.** Изучить особенности проведения статической балансировки (представить в отчете схему статической балансировки). Провести статическую балансировку детали (по заданию преподавателя). Результаты отразить в отчете.

2-е звено. Изучить особенности проведения динамической балансировки (представить в отчете схему динамической балансировки). Провести динамическую балансировку детали (по заданию преподавателя). Определить остаточный дисбаланс детали. Результаты отразить в отчете.

***40 мин – 1-е звено.** Изучить особенности проведения динамической балансировки (представить в отчете схему динамической балансировки). Провести динамическую балансировку детали (по заданию преподавателя). Определить остаточный дисбаланс детали. Результаты отразить в отчете. Сдать рабочее место учебному мастеру.

2-е звено. Изучить особенности проведения статической балансировки (представить в отчете схему статической балансировки). Провести статическую балансировку детали (по заданию преподавателя). Результаты отразить в отчете. Сдать рабочее место учебному мастеру.

40 мин – работа с подгруппой. Ответить на контрольные вопросы (см. с. 19). Оформить отчет и защитить у преподавателя.

*Практическая часть работ проводится по звеньям.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Неуравновешенность – состояние ротора, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах ротора и его изгиб.

Главная центральная ось инерции ротора – центральная ось твердого тела или механической системы, относительно которой центробежные моменты инерции или системы равны нулю (неправильное, но часто используемое понятие – *ось центров масс*).

Эксцентриситет массы (R) – радиус-вектор центра рассматриваемой массы относительно оси ротора (рис. 1).

Точечная неуравновешенная масса – условная точечная масса с заданным эксцентриситетом, вызывающая во время вращения ротора переменные нагрузки на опорах и его изгиб.

Дисбаланс (D) – векторная величина, равная произведению неуравновешенной массы на ее эксцентриситет. Дисбаланс полностью определяется значением и углом.

Допустимый дисбаланс (D_{don}) – наибольший остаточный дисбаланс в рассматриваемой плоскости жесткого ротора, который является приемлемым.

Начальный и остаточный дисбаланс (D_n , D_o) – дисбаланс в рассматриваемой плоскости, перпендикулярной оси ротора, до и после корректировки масс.

Удельный дисбаланс (e) – отношение модуля главного вектора дисбаланса к массе ротора. Удельный дисбаланс определяет значение эксцентриситета центра масс ротора.

Допустимый удельный дисбаланс (e_{don}) – наибольший удельный дисбаланс, который считается приемлемым.

Корректирующая масса – масса, используемая для уменьшения дисбалансов ротора.

Статическая балансировка – балансировка, при которой определяется и уменьшается главный вектор дисбалансов ротора, характеризующий его статическую неуравновешенность. Статическая балансировка является достаточной для роторов дискообразной формы, масса которых размещена приблизительно в одной плоскости. Обычно это допустимо для роторов, у которых отношение длины к диаметру меньше 1/5. Статическую балансировку можно проводить двумя способами. Первый – на приспособлениях типа ножи или призмы, где используется свойство центра масс ротора занимать при

устойчивом равновесии низшее положение. Второй, более быстрый и точный – на балансировочных станках, где при вращении неуравновешенного ротора проявляется центробежная сила.

Моментная балансировка – балансировка, при которой определяется и уменьшается главный момент дисбалансов ротора, характеризующий его моментную неуравновешенность.

Динамическая балансировка – балансировка, при которой определяются и уменьшаются дисбалансы ротора, характеризующие его динамическую неуравновешенность.

Плоскость измерения (I, II) – плоскость, перпендикулярная оси ротора, в которой проводится измерение. (Плоскость расположения вкладышей/роликов измерительных опор балансировочного станка).

Плоскость коррекции (A, B) – плоскость, перпендикулярная оси ротора, в которой крепят/устраняют корректирующие массы.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При вращении многих деталей и сборочных единиц (коленчатых валов, маховиков, шкивов, дисков, карданных валов, барабанов и т.д.) из-за наличия неуравновешенных масс возникают центробежные силы. Неуравновешенность деталей и сборочных единиц возникает из-за неточности их изготовления (даже в пределах допуска), неточной сборки (несоосность и др.), неравномерного изнашивания поверхностей и т.д. Неуравновешенность очень вредна, так как возникают вибрации, резко возрастают нагрузки на детали и машину в целом, что в итоге приводит к ускорению изнашивания подшипниковых узлов и нарушению многих деталей.

У любой вращающейся детали по той или иной причине центр массы находится не на оси вращения, а смещен от неё на расстояние R (так называемый эксцентриситет). В этом случае имеется дисбаланс, равный произведению массы детали M на величину эксцентриситета R . Так, например, при массе детали $M=1$ кг и эксцентриситете $R=3$ мм дисбаланс будет равен 3000 г·мм. При вращении детали будет возникать центробежная сила F , вызывающая вибрацию. Эта сила пропорциональна дисбалансу и квадрату угловой скорости детали, а также зависит от жесткости соответствующего узла. Поэтому с теоретической точки зрения балансировка состоит в том, чтобы создать у детали дисбаланс, равный по величине (модулю) и противоположный по знаку исходному дисбалансу. Сумма этих дисбалансов

(результатирующий дисбаланс) будет равна нулю, а это значит, что деталь сбалансирована, и при вращении вибрации не будет.

По данным доктора технических наук, профессора В. А. Щепетильникова «...надлежащая балансировка деталей автомобиля удлинит срок службы на 25...100%, повышает полезную мощность на 10%». Несложно посчитать, что при частоте вращения $n=6000$ об/мин коленчатый вал массой 20 кг, получив эксцентриситет массы всего $e=0,1$ мм (за счет прогиба вала, биения посадочного места под маховик, неправильной шлифовки, замены элементов, влияющих на дисбаланс) создаёт центробежную силу $F=7729\text{Н}$ (788кг). Эта разрушительная сила распределяется на опоры и приводит:

- к падению мощности и повышенному расходу топлива; снижению ресурса работы двигателя и других агрегатов автомобиля;
- к повышенной вибрации и шуму в салоне, что вызывает дискомфорт и усталость как водителя, так и пассажиров.

После ремонта коленчатых валов перешлифовкой под ремонтный размер без последующей их балансировки дисбаланс превышает допустимое значение в 2...5 раз. Только из-за неуравновешенности отремонтированных коленчатых валов ресурс двигателя сокращается на 10-12%. Балансировка, проводимая при ремонте, уменьшает число отказов и увеличивает ресурс отремонтированных двигателей до 25%. Поэтому уравновешивание вращающихся деталей и сборочных единиц – один из важных резервов повышения надежности отремонтированных машин.

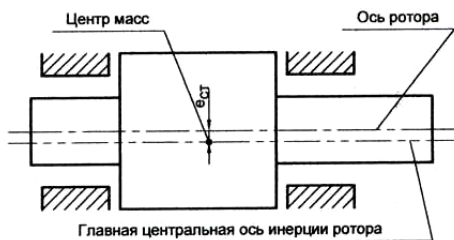
Балансировкой называют технологический процесс совмещения главной центральной оси инерции с осью вращения, т.е. устранение неуравновешивания ротора.

Различают следующие виды неуравновешенности.

Статическая неуравновешенность ротора – неуравновешенность ротора, при которой ось ротора и его главная центральная ось инерции параллельны (см. рис.1, а). Статическая неуравновешенность полностью определяется: эксцентриситетом (R) центра массы ротора, или относительным смещением главной центральной оси инерции и оси ротора, равным значению эксцентриситета центра его массы.

Моментная неуравновешенность ротора – неуравновешенность ротора, при которой ось ротора и его главная центральная ось инерции пересекаются в центре масс ротора (см. рис.1, б). Моментная неуравновешенность полностью определяется главным момен-

Статическая неуравновешенность ротора



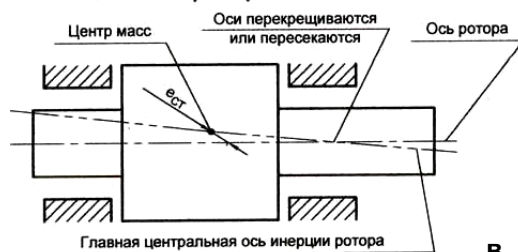
а

Моментная неуравновешенность ротора



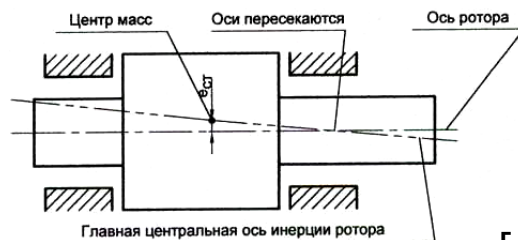
б

Динамическая неуравновешенность ротора



в

Квазистатическая неуравновешенность ротора



г

том дисбалансов ротора или двумя равными по значению антипараллельными векторами дисбалансов, лежащими в двух произвольных плоскостях, перпендикулярных оси ротора. Такую неуравновешенность можно вызвать, прикрепив на края ротора пару одинаковых грузов под углом 180° друг к другу. Таким образом, центр масс хоть и останется на оси вращения, но главная центральная ось инерции отклонится на некоторый угол. Чем примечателен такой вид дисбаланса? Ведь на первый взгляд, в «природе» его можно встретить разве что по «счастливой» случайности... Коварство такой неуравновешенности заключается в том, что она проявляется только при вращении вала. Положите ротор с моментным дисбалансом на ножи, и он будет находиться в полном покое, сколько бы раз его не переключивали.

Рис. 1. Виды неуравновешенностей

Однако стоит раскрутить его, так тут же появится сильнейшая вибрация. Устранить подобную неуравновешенность можно только на балансировочном станке.

Динамическая неуравновешенность ротора – неуравновешенность ротора, при которой ось ротора и его главная центральная ось инерции пересекаются не в центре масс или перекрещиваются (см. рис.1, в). Динамическая неуравновешенность состоит из статической и моментной неуравновешенностей. Динамическая неуравновешенность полностью определяется главным вектором и главным моментом дисбалансов ротора или двумя векторами дисбалансов, в общем случае разных по значению и непараллельных, лежащих в двух произвольных плоскостях, перпендикулярных оси ротора («крест дисбалансов»).

Квазистатическая неуравновешенность ротора – динамическая неуравновешенность ротора, при которой ось ротора и его главная центральная ось инерции пересекаются не в центре масс ротора (см. рис.1, г). При квазистатической неуравновешенности главный вектор дисбалансов ротора перпендикулярен оси ротора, проходит через центр его масс и лежит в плоскости, содержащей главную центральную ось инерции и ось ротора, а главный момент дисбалансов ротора перпендикулярен этой плоскости; дисбалансы ротора лежат в одной плоскости, содержащей ось ротора и его центр масс

Для устранения неуравновешенностей применяют два вида балансировки: статическую и динамическую.

А. Статическая балансировка

Статическая неуравновешенность обусловлена тем, что центр масс детали не лежит на оси ее вращения, поэтому при вращении детали возникает неуравновешенная центробежная сила инерции, H ,

$$F = m r \omega^2 = \frac{\varphi \cdot r_g}{g} \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2, \quad (1)$$

где m – неуравновешенная масса, кг; r – расстояние до массы m от оси вращения детали, м; ω – угловая скорость вращения, рад/с; φ – сила тяжести (вес) детали, Н; r_g – эксцентриситет центра масс детали, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; n – частота вращения детали, мин⁻¹.

Из этой формулы видно, что неуравновешенность особенно опасна при большой частоте вращения, так как сила инерции пропорциональна ее квадрату.

При статической балансировке опытным путем определяют массу, которую необходимо удалить с детали или прибавить к ней, чтобы центр масс детали располагался на оси ее вращения. Для этого деталь (например, маховик), смонтированную на точно обработанную и уравновешенную оправку, устанавливают на горизонтальные призмы или ролики с малым сопротивлением в опорах. Под действием неуравновешенной массы, создающей вращающий момент, деталь самопроизвольно повернется и установится так, что эта масса будет находиться в нижнем положении. Устраняют дисбаланс удалением металла с утяжеленной (нижней) стороны детали сверлением, фрезерованием, опиловкой или прикреплением корректирующего груза на противоположной стороне (например, у колес автомобилей). Массу удаляемого металла или прикрепляемого груза определяют опытным путем, добиваясь, чтобы после поворота детали на любой угол она оставалась неподвижной (как бы в состоянии безразличного равновесия).

Статически балансируют маховики, диски сцепления, сборочные единицы муфт сцепления и др.

Статическая балансировка на роликах точнее, чем на призмах. Точность балансировки зависит от силы трения, возникающей между роликами, призмами или дисками и шейками вала или оправки, на которые устанавливают балансируемые детали. Поэтому рабочие поверхности закаливают и шлифуют, а длину призм выбирают в пределах $(2...2,5) D$, где D – диаметр шейки оправки вала, мм.

Балансировка маховиков. Для балансировки маховиков служат роликовые приспособления, а также балансировочные станки УБС-1 и УБС-2. При статической балансировке маховиков, кроме неточностей, вызванных потерями на трение дисков, на качество балансировки значительно влияет центровка маховиков на оправках вследствие того, что посадочная поверхность имеет довольно широкий допуск на изготовление. Поэтому для облегчения центровки на различных балансировочных стендах применяют разнообразные центрирующие устройства, выравнивающие зазор в посадке маховика. После выявления размера и места неуравновешенности высверливают маховик. В заключение проводят контрольное измерение и при необходимости операцию высверливания повторяют.

Балансировка сцепления. Сцепление двигателей – наиболее существенный источник неуравновешенности, который устраняют на специальном приспособлении (КИ-4966 и др.). Положение дисбаланса определяют с помощью кругового уровня, закрепленного на планшайбе. Уравновешивание обеспечивается подбором грузов, ввинчиванием их в специальные отверстия в упорном диске сцепления или сверлением в дисках сцепления двигателей.

Статическая балансировка коленчатых валов в сборе с маховиком выполняется в два этапа на стенде любой конструкции. Наиболее распространенный и доступный метод статической балансировки – балансировка на роликах. Коленчатый вал укладывают на ролики, и если он не отбалансирован, то он тяжелой частью повернется вниз. К торцу обода маховика с противоположной стороны для уравновешивания вала прикрепляют массу, равную массе металла, необходимой для уравновешивания вала. После проверки вращением вала на роликах (дисках) убеждаются в правильности подобранной массы груза. Далее с противоположной стороны прикрепленной массы груза высверливают равную массу металла на том же радиусе. Если вал не поворачивается из любого установленного положения, то он отбалансирован правильно.

В. Динамическая балансировка

Динамическая неуравновешенность возникает тогда, когда ось вращения детали не совпадает с ее главной осью инерции.

Допустим, что при статической балансировке неуравновешенную массу m уравновесили массой Q . Поскольку положение плоскости, в которой расположена масса m , неизвестно, то и вводимая компенсирующая масса Q расположится в любом поперечном сечении детали на каком-то расстоянии от первой плоскости. При этом центр масс совпадает с осью вращения, деталь на призмах установится в любом положении. Но при вращении такой детали возникнут центробежные, противоположно направленные силы F_1 и F_2 , т.е. возникает пара сил, образующая возмущающий момент

$$M = F_1 L = m r \omega^2 L, \quad (2)$$

где L – расстояние между неуравновешенной и уравновешенной статически массой, мм.

Возмущающий момент стремится повернуть вал вокруг его центра масс на некоторый угол, но опоры вала мешают этому, воспринимая дополнительную нагрузку. В результате возникают вибрации работающего агрегата (например, двигателя).

Для динамической уравновешенности детали необходимо либо убрать возмущающий момент, либо создать равный противодействующий момент, прикрепив к детали в той же плоскости две массы m_1 и m_2 так, чтобы $F_1 L = P_1 l$, где l – расстояние между уравновешивающимися массами, мм.

Динамическую балансировку деталей и сборочных единиц проводят на специальных стендах, принцип действия которых заключается в следующем. Деталь помещают на упругие опоры (люльки) стенда и вращают. Под действием неуравновешенных центробежных сил инерции и их моментов люльки будут колебаться в горизонтальной плоскости.

Колебания опор приводят в движение связанные с ними катушки датчиков, находящихся в магнитном поле постоянных магнитов, в результате чего в обмотках катушек наводится ЭДС, значение которой будет пропорционально амплитуде колебаний. Таким образом, датчики преобразуют механические колебания люлек в электрические сигналы. Сигналы от датчиков подводятся к блоку усиления. Далее они поступают на миллиамперметр, шкала которого градуирована в единицах дисбаланса, и на безинерционную лампу стробоскопа, которая освещает цифры на вращающемся лимбе. Цифры показывают угол (в градусах) расположения дисбаланса. Угловое положение дисбаланса отсчитывают по лимбу и устанавливают по стрелке на маховике.

Дисбаланс и его уравновешивание измеряют поочередно для каждой из опор (правой и левой). Для этого на пульте управления расположен переключатель. Балансировку проводят при вращении детали. Через некоторое время после достижения заданной частоты вращения детали с помощью электромагнитов автоматически растормаживаются люльки. Далее определяют дисбаланс и угол его расположения для одного конца детали. Снимают часть металла (у коленчатого вала, например, с противовеса), добиваясь допустимого значения дисбаланса. Затем те же операции выполняют для другого конца детали. Когда двигатель выключают, электромагниты обесточивают и запирают люльки. На таком принципе работает большинство оборудования для динамической балансировки узлов и деталей.

Масса снимаемого или добавляемого металла, г:

$$G = M / r_1, \quad (3)$$

где M – дисбаланс (показания миллиамперметра), г·см; r_1 – расстояние от оси вращения детали до места снятия металла или прикрепления груза, см.

Из формулы (2) можно установить, для каких деталей достаточно статической балансировки, а для каких необходима динамическая. Статической балансировки достаточно для коротких деталей (шкивов, маховиков, дисков сцепления и т.д.), у которых длина меньше диаметра и не может быть больше плеча L пары сил, а значит, возмущающий момент практически равен нулю. В то же время вследствие большого диаметра их статическая неуравновешенность может быть большой. И, наоборот, для деталей с большей длиной, значительно превосходящей диаметр (коленчатые валы, барабаны и т.д.), первостепенное значение имеет динамическая неуравновешенность, и их обязательно подвергают динамической балансировке. Динамическая неуравновешенность включает в себя и статическую неуравновешенность, но не наоборот.

Обычно детали ответственных сборочных единиц динамически балансируют отдельно, а затем всю сборочную единицу балансируют в сборе. Так поступают, например, с коленчатым валом в сборе с маховиком и сцеплением. Нормы дисбаланса приведены в технических требованиях на ремонт машин.

Практически каждый производитель моторов в инструкциях по ремонту деталей указывает величины остаточного дисбаланса. Однако если эти данные найти не удалось, то можно воспользоваться общими рекомендациями. И отечественный ГОСТ и общемировой стандарт ISO предлагают примерно одно и то же (Прил. 1).

Динамическую балансировку деталей проводят на станках БМ-4У, 4274, ЦКБ-2468.

Станок для динамической балансировки деталей КИ-4274. Станок предназначен для динамической балансировки коленчатых валов автотракторных двигателей массой от 10 до 100 кг, именующихся в дальнейшем «ротор».

Плоскости коррекции в пределах длины балансируемой детали могут быть выбраны в наиболее удобной его части, причем взаимное влияние плоскостей коррекции отсутствует. Количество

корректирующей массы определяется по показанию стрелочного индикатора значения дисбаланса.

Угол коррекции определяется стробоскопическим индикатором угла дисбаланса.

Станок пригоден для балансировки деталей, вращающихся как на подшипниках скольжения, так и на подшипниках качения.

Рекомендуемые для балансировки детали: коленчатый вал; коленчатый вал в сборе с маховиком и сцеплением; молотильные барабаны комбайнов, соответствующие технической характеристике станка.

Балансировка роторов, создающих при вращении большие вентиляционные потоки, должна производиться в кожухах.

Привод станка нереверсивный, вращение левое.

Устройство и принцип работы. Станок состоит из двух частей: механической части и устройства измерительного с преобразователем. Кроме этого, он включает в себя электрооборудование с электроприводом и имеет устройство для автоматической смазки вкладышей под шейки балансируемого ротора.

Механическая часть состоит из литых чугунных стоек 1 и 2, плиты 3, стальных труб 4, жестко соединенных между собой и составляющих станину станка.

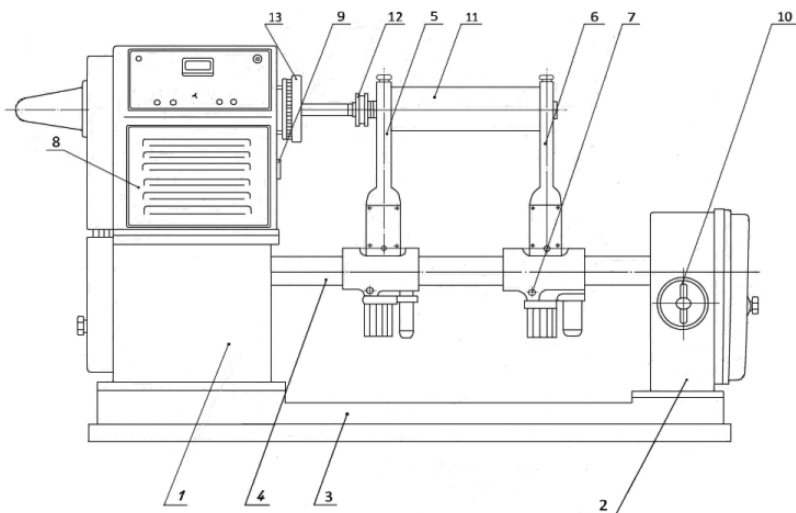


Рис. 2. Станок для динамической балансировки деталей модели КИ-4274

На трубчатых направляющих станка укрепляются две опоры 5 и 6, которые после перемещения в заданное положение в зависимости от длины балансируемой детали закрепляются винтами 7.

На стойке 1 жестко укреплена шпиндельная бабка 8, а внутри стойки 1 смонтирован электронный блок. Привод станка укреплен на подмоторной плите 2 и включает в себя электродвигатель, шкив, приводной ремень.

Электродвигатель управляется кнопочной станцией, укрепленной на шпиндельной бабке.

В стойке смонтирован щит с электрооборудованием. Включение электрооборудования станка производится пакетным выключателем 10.

На опорах 5 и 6 крепятся кронштейны, на которых монтируются электромагниты, масляный насос и фильтр.

Электромагниты служат для автоматического запираания и отпираания люлек и приведения в действие масляного насоса.

В корпусах опор 5 на стальных лентах 6 подвешены люльки, смонтированы масляные гасители колебаний люлек (демпферы), преобразователи и механизм запираания опор. Кроме этого, к корпусам прикреплены бачки для автоматической смазки вкладышей. Количество масла для смазки регулируется иглой. Сменные вкладыши (в зависимости от диаметра шейки ротора) под шейкой детали крепятся на полулюльках цапфами. Демпферы подвешиваются к люлькам на тягах.

Станок подключается к сети трехфазного тока напряжением 380V; 50Hz через пакетный выключатель.

Устройство измерительное включает в себя: преобразователь индуктивный, состоящий из катушки с приводом ПЭЛ-1 Ø0,12, числом витков 15000; магнит цилиндрический Ø16, l=80 mm, сплав ЮНДК-24; частотно-зависимый усилитель; индикатор значения дисбаланса, стробоскопический индикатор угла дисбаланса. Преобразователи В1 и В2 индукционной системы предназначены для преобразования механических колебаний люлек в колебания электрического тока, причем амплитуда и фаза электрических колебаний пропорциональны соответственно амплитуде и фазе колебаний балансируемого ротора.

Преобразователи размещены в корпусах левой и правой опор. Сигнал от преобразователей подается на усилитель устройства из-

мерительного через регулировочные потенциометры на пульте управления.

Усилитель установлен на крышке шпindelной бабки. Он служит для суммирования сигналов преобразователей, усиления и регистрации, а также формирования электрических импульсов для стробоскопического осветителя.

Привод ротора станка КИ-4274 осуществляется от электродвигателя через ременную передачу на шкив шпинделя.

Со шпинделя через упругую муфту и приводной вал вращение передается на балансируемый ротор. Неуравновешенность ротора вызывает механические колебания люлек опор, которые связаны сердечниками индукционных датчиков. Выходное напряжение пропорционально перемещению сердечников индукционных датчиков, усиливается в электронном блоке и поступает на индикатор значения дисбаланса. Переключателем на пульте осуществляется коммутация измерений значения дисбаланса в левой и правой плоскостях коррекции.

Угол дисбаланса определяется с помощью стробоскопического индикатора.

Стробоскопический индикатор управляется напряжением преобразователя, причем каждый раз, когда вектор дисбаланса оказывается в вертикальной плоскости, проходящей через ось ротора, и направлен вверх, лампа вспыхивает, показывая угол коррекции.

Угол коррекции определяется по лимбу, укрепленному на шпинделе. При вспышке лампы стробоскопического осветителя цифры на лимбе кажутся неподвижными.

Цифра оказывается против неподвижной стрелки и определяет угол коррекции неуравновешенности ротора.

Балансировка коленчатых валов. В зависимости от конструкции коленчатого вала и от уравновешенности двигателя балансировку вала проводят с технологическими втулками или без них. Коленчатые валы четырехцилиндровых и шестицилиндровых рядных, а также 12-цилиндровых V-образных двигателей балансируют, как правило, без технологических втулок. Балансировку коленчатых валов остальных двигателей производят с технологическими втулками, заменяющими действие инерционных сил шатунно-поршневой группы.

Особенности балансировки коленчатых валов V-образных двигателей. Балансировка коленчатых валов двигателей ЯМЗ-

238НБ, ЗИЛ-130, ГАЗ-53А, СМД-60 отличается от балансировки коленчатых валов других типоразмеров.

Указанные выше коленчатые валы необходимо балансировать, строго выполняя технические требования, изложенные в рабочих чертежах на коленчатый вал, т.е. путем установки на каждую шатунную шейку специальных прецизионно-изготовленных грузов.

Без технологических грузов балансировать указанные выше коленчатые валы запрещается.

В комплект специального приспособления, прецизионно выполненного, входят:

- ротор контрольный с грузиком, создающий дисбаланс 3000 Нм;
- специальные грузы на ремонтные размеры коленчатого вала;
- технологические противовесы – передний и задний для коленчатого вала двигателя ЯМЗ-238НБ и задний для СМД-60.

Подготовку к балансировке коленчатых валов указанных выше типоразмеров необходимо осуществлять следующим образом:

а) очистить коренные и шатунные шейки вала от пыли и других наслоений;

б) надеть и закрепить на вал данного типоразмера специальные грузы;

в) надеть и закрепить (для коленчатого вала двигателя ЯМЗ-238НБ) технологические противовесы, передний и задний; для коленчатого вала СМД-60 – только задний;

г) надеть приводную муфту на вал и повернуть за маховик, убедившись в плавности прокручивания вала;

д) произвести настройку станка по изложенной в паспорте инструкции.

После выполнения перечисленных пунктов можно приступать к балансировке коленчатых валов.

Выкручивание пробок из специальных грузов категорически запрещается.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А. Статическая балансировка деталей

1. Изучить правила техники безопасности на рабочем месте.
2. Ознакомиться с содержанием методических рекомендаций и ответить на контрольные вопросы.

3. Установить деталь на роликовое приспособление для статического уравнивания.
4. Определить неуравновешенность детали (массу и положение угла расположения дисбаланса).
5. Произвести статическую балансировку детали одним из перечисленных способов: удалением металла; приклеиванием массы груза; регулировкой расположения грузов на ступице (при балансировке абразивных кругов).
6. Провести окончательный контроль уравновешенности детали.
7. Определить остаточный статический дисбаланс детали.
8. Оформить отчет о проделанной работе.

Б. Динамическая балансировка деталей

1. Изучить правила техники безопасности на рабочем месте.
2. Ознакомиться с содержанием методических указаний (устройством и принципом работы станка для динамической балансировки деталей модели КИ-4274).
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Установить деталь на стенд для динамической балансировки колес автомобилей модели G-111N.
5. Определить неуравновешенность детали (массу и положение угла расположения дисбаланса).
6. Произвести динамическую балансировку детали.
7. Провести окончательный контроль уравновешенности детали.
8. Оформить отчет о проделанной работе.

ОТЧЁТ ПО РАБОТЕ

В отчёте должны быть отражены следующие вопросы:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Виды неуравновешенностей и схемы статической и динамической балансировки.
3. Описание процесса статической балансировки на роликовом приспособлении.
4. Описание процесса динамической балансировки на станке КИ-4274.
5. Результаты выполненной работы занести в таблицу.

Результаты измерений

Балансируемая деталь	Контролируемая сторона*	Дисбаланс			
		начальный		остаточный	
		значение, г·см	расположение, град.	значение г·см	расположение, град.

* для динамической балансировки.

Контрольные вопросы

1. Назовите причины дисбаланса узлов и деталей и их последствия при работе машин.
2. Какие существуют виды неуравновешенностей?
3. Какие существуют способы балансировки и каковы их особенности?
4. Как влияют на уравновешенность деталей методы их восстановления?
5. Назовите способы устранения дисбаланса.
6. Перечислите основные сборочные единицы машины для динамической балансировки и их назначение.
7. Как определить остаточный статический дисбаланс детали?
8. От чего зависит точность статической балансировки?
9. Каковы основные правила техники безопасности при выполнении данной работы?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Классы точности балансировки по ГОСТ и по ISO

Классы точности балансировки		Типы роторов
по ГОСТ 22061-76	по ISO 1940	
1	2	3
1	0,4	Шпиндели, шлифовальные круги и роторы электродвигателей прецизионных шлифовальных станков. Гироскопы
2	1,0	Приводы магнитофонов и проигрывателей. Приводы шлифовальных станков. Роторы небольших электродвигателей специального назначения
3	2,5	Газовые и паровые турбины, включая главные турбины торговых судов. Турбогенераторы с жесткими роторами. Турбокомпрессоры. Турбонасосы. Приводы металлообрабатывающих станков. Роторы средних и крупных электродвигателей со специальными требованиями. Роторы небольших электродвигателей
4	6,3	Части технологического оборудования. Главные редукторы турбин торговых судов. Барабаны центрифуг. Вентиляторы. Роторы авиационных газотурбинных двигателей в сборе. Маховики. Крыльчатки центробежных насосов. Части станков и машин общего назначения. Роторы обычных электродвигателей. Отдельные детали двигателей со специальными требованиями
5	16	Приводные валы (валы судовых винтов, карданные валы) со специальными требованиями. Части дробилок. Части сельскохозяйственных машин. Отдельные части двигателей (бензиновых или дизельных) легковых автомобилей, грузовиков и локомотивов. Узел коленчатого вала двигателя с шестью и более цилиндрами со специальными требованиями.

1	2	3
6	40	Узел коленчатого вала высокооборотного дизеля с шестью и более цилиндрами. Двигатели в сборе (бензиновые и дизельные) для легковых и грузовых автомобилей и локомотивов
7	100	Колеса легковых автомобилей, ободы колес, бандажи, приводные валы, тормозные барабаны автомобиля, колесные пары

Приложение 2

Динамическая балансировка коленчатых валов ДВС*

Уравновешивание вращающихся деталей ДВС – необходимая и ответственная операция технологического процесса ремонта двигателя. Доказано, что качественная балансировка повышает полезную мощность двигателя на 10% и ресурс его работы на 25...40%. Чтобы понять важность и влияние дисбаланса коленчатого вала на работу двигателя, возьмем в качестве примера коленчатый вал двигателя ЗМЗ - 406, допустимый дисбаланс которого, установленный заводом изготовителем, составляет 360 г·мм. Чтобы легче представить и понять эти цифры, вспомним, что сила инерции для вращательного движения равна

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 = m \cdot r \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2, \quad (1)$$

где m – неуравновешенная масса, кг; r – радиус ее вращения, м; ω – угловая скорость вращения, рад/с; n – частота вращения, об/мин.

Подставляя значения в формулу (1) и принимая частоту вращения от 1000 до 10 000 об/мин, получаем следующие значения силы инерции:

$$F_{1000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 1000/30)^2 = 1,1 \text{ Н}$$

$$F_{2000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 2000/30)^2 = 4,4 \text{ Н}$$

$$F_{3000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 3000/30)^2 = 9,9 \text{ Н}$$

$$F_{4000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 4000/30)^2 = 17,55 \text{ Н}$$

$$F_{5000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 5000/30)^2 = 27,4 \text{ Н}$$

$$F_{6000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 6000/30)^2 = 39,5 \text{ Н}$$

$$F_{7000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 7000/30)^2 = 53,8 \text{ Н}$$

$$F_{8000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 8000/30)^2 = 70,2 \text{ Н}$$

$$F_{9000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 9000/30)^2 = 88,9 \text{ Н}$$

$$F_{10000} = 0,1 \cdot 0,001 \cdot (3,14 \cdot 10000/30)^2 = 109,7 \text{ Н}$$

Конечно, этот двигатель вряд ли когда-нибудь выйдет на частоту вращения 10 000 об/мин, но этот несложный расчет сделан для того, чтобы понять, как важна балансировка при увеличении частоты вращения.

Технологический процесс динамической балансировки рассмотрим на примере коленчатого вала рядного шестицилиндрового дизельного двигателя МВ 603.973 с допустимым дисбалансом, установленным заводом изготовителем, 100 г·мм. Много это или мало? Дисбаланс в 100 г·мм действительно достаточно жесткий допуск для данного двигателя, и нет никакой необходимости делать этот допуск жестче. Данный вал был предварительно отшлифован и после поступил на балансировку.

Технологический процесс балансировки коленчатого вала начинается с этапа подготовки станка к работе. Для этого устанавливаем коленчатый вал на опоры станка, устанавливаем приводной ремень, датчик положения и частоты вращения коленчатого вала (рис.1).

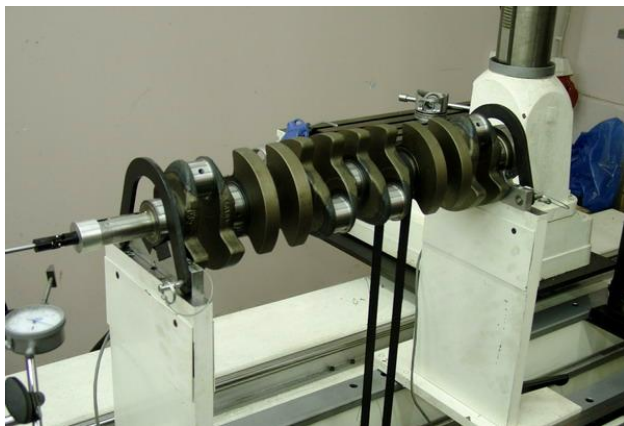


Рис. 1. Установка коленчатого вала на балансировочный стенд

Вводим в компьютер (или находим в базе данных) размеры вала, координаты положения и радиусы поверхностей коррекции (рис. 2).



Рис. 2. Ввод данных по коленчатому валу в компьютер балансировочного станка



Рис. 3. Полученные данные по дисбалансу коленчатого вала после предварительного измерения

При предварительном измерении дисбаланса были получены результаты, представленные на рис.3 откуда видно, что дисбаланс на левой плоскости равен 378 г·мм, на правой 301 г·мм. Условно можно принять, что общий дисбаланс на вал получается 679 г·мм, что почти в 7 раз превышает допуск, заложенный заводом изготовителем.

Чтобы понять, какое влияние на дисбаланс коленчатого вала оказывает технология его восстановления (например, шлифовка шеек) необходимо вернуться к простым расчетам и разобраться, почему так получается. Для простоты расчета примем вес вала 20 кг (этот вес очень близок к истине для коленчатого вала шестицилиндрового двигателя). Вал имеет остаточный дисбаланс, допустим, 0 г·мм (что является полной утопией). И так, если при шлифовании в ремонтный размер, при базировании (установке) коленчатого вала шлифовщик сместил ось вращения от оси инерции всего на 0,01 мм, получается дисбаланс сразу же 200 г·мм. А если учесть, что у заводского вала всегда присутствует дисбаланс, то картина будет еще хуже. Единственным правильным выходом из данной ситуации является обязательная балансировка коленчатого вала после его шлифовки. Поэтому неслучайно операция балансировки коленчатого вала, как правило, является обязательной в технологических процессах его восстановления.

Традиционно балансировку коленчатого вала выполняют высверливанием противовеса (рис. 4). Иногда приходится утяжелять противовесы, но это достаточно редкий случай.

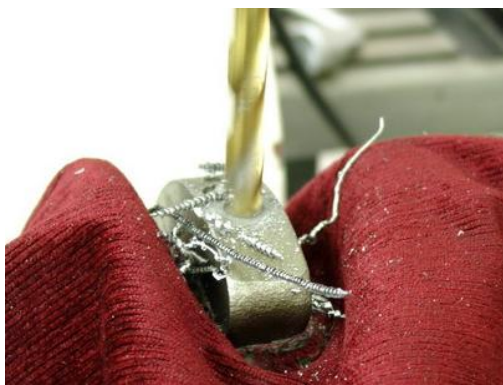


Рис. 4. Высверливание противовесов при балансировке коленчатого вала

Значения остаточного дисбаланса после проведенной балансировки коленчатого вала лены на рис. 5.

Остаточный дисбаланс по левой плоскости 7 г·мм, по правой 4 г·мм т.е. общий дисбаланс на вал 11 г·мм. Такая точность показывает возможности применяемого оборудования.

Зачастую возникает вопрос, а нужно ли балансировать передний демпфер (шків), маховик, корзину сцепления. Технические требования на капитальный ремонт двигателей, например ЗМЗ, определяют допустимый дисбаланс этих деталей:



Рис. 5. Значения остаточного дисбаланса после проведенной балансировки

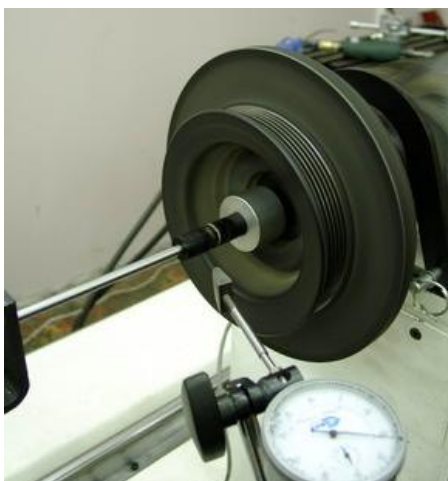


Рис. 6. Балансировка переднего шкива (демпфера)

каждой из этих деталей существенно перекрывает допуски на остаточный

на шкив передний с демпфером 100 г·мм, на маховик – 150 г·мм, на корзину сцепления – 100 г·мм. Но есть очень важное примечание – все эти детали балансируются отдельно от вала, и коленчатый вал в сборе на современных моторостроительных заводах в серию не балансируется, т.е. при установке вышеперечисленных деталей на коленчатый вал остаточный дисбаланс, естественно, изменится, так как совпадение осей вращения практически невозможно.

Как показывает практика, эти детали вносят ощутимый вклад в дисбаланс коленчатого вала. Дисбаланс

дисбаланс. Так, цифра 150-300 г·мм является «нормой» для переднего шкива (демпфера), для маховика – 200-500 г·мм, и 200-700 г·мм для корзины сцепления. И это относится не только к российскому автопрому. Еще один очень важный момент: после балансировки деталей по отдельности (рис. 6) надо провести балансировку в сборе (рис. 7), но она должна делаться на последнем этапе. Предварительная балансировка по отдельности является также обязательной. Это надо для того, чтобы в случае, если выйдет из строя маховик или сцепление, не пришлось снимать коленчатый вал для повторной перебалансировки.

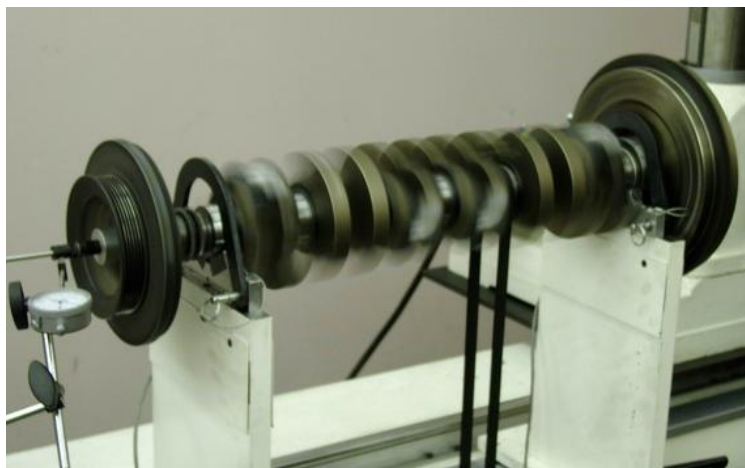


Рис. 7. Балансировка коленчатого вала в сборе с передним шкивом, маховиком и сцеплением

После проведенной балансировки коленчатого вала в сборе были получены показанные на рис. 8 результаты. При этом следует учесть, что вес вала в сборе около 43 кг. Итоговый дисбаланс коленчатого вала в сборе 37 г·мм. При балансировке более сложных коленчатых валов, например, от двигателей V8, не стоит забывать о развесовке поршней и шатунов, что является важной и обязательной задачей (рис. 9). Причем развесовку шатунов надо делать не просто по весу, а по центру масс, так как разница в весе этих деталей также вносит свой вклад в дисбаланс двигателя и строго регламентируется заводом изготовителем. На шатунные шейки необходимо устанавливать специальные балансировочные грузы. А их масса зависит, во-первых, от массы поршневой группы, т. е. массы деталей, движущихся исключительно поступательно, во-вторых, от развесовки шатунов, т. е. от того, какая масса шатуна относится к вращающимся деталям, а какая к поступательно движущимся, и, наконец, в-третьих, от массы деталей только вращающихся.



Рис. 8. Значения остаточного дисбаланса после балансировки коленчатого вала в сборе



Рис. 9. Развесовка поршней и шатунов

Необходимо последовательно взвесить все детали, записать данные, посчитать разницу между массами и учесть их при последующем распределении грузов на шатунных шейках.

Современные производители балансировочного оборудования предлагают в качестве опции воспользоваться системой автоматизированного

взвешивания. Суть системы проста: программное обеспечение весов станка связано с его компьютером, что позволяет избежать ручного ввода данных. По результатам взвешивания программа автоматически выдает таблицу балансировочных грузов, которую можно еще и распечатать (рис. 10).

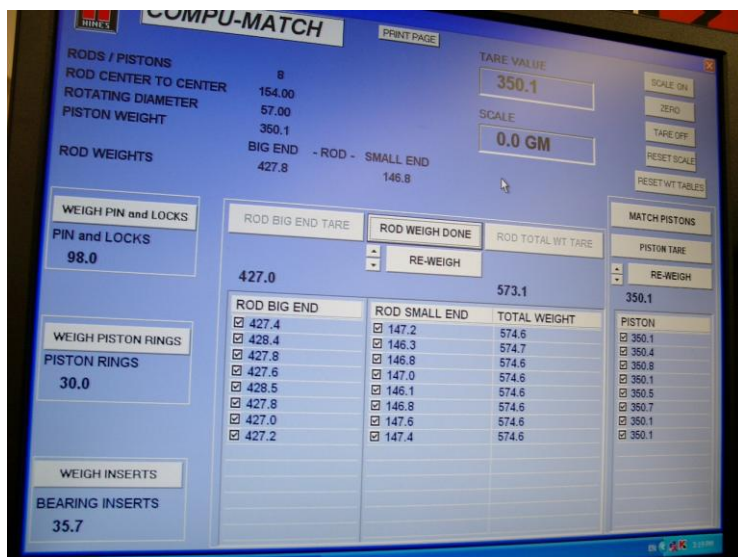


Рис. 10. Заполнение таблицы данных на мониторе компьютера при развесовке поршней и шатунов

Также автоматически находится самая легкая деталь в группе, например, самый легкий поршень, и для каждой детали автоматически определяется масса, которую требуется удалить, чтобы выровнять веса. Никакой путаницы не возникнет и с определением массы верхней и нижней головок шатунов (кстати, все необходимое для развесовки поставляется в комплекте с весами). После чего компьютер рассчитает массу балансировочных грузов исходя из массы конкретной поршневой и развесовки шатунов. Остается только добавить, что при расчете масс этих грузов учитывается даже масса моторного масла, которое будет находиться в магистралах вала во время работы двигателя.

Грузы наборные, т. е. на шпильку устанавливаются шайбы разной массы и фиксируются гайками (рис. 11).

На заключительной стадии производится окончательная балансировка (рис. 12).

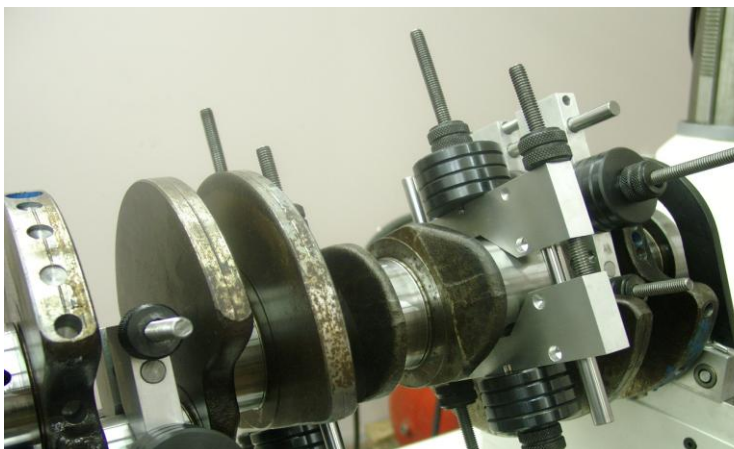


Рис. 11. Установка на коленчатый вал грузов, учитывающих различные массы поршней и шатунов

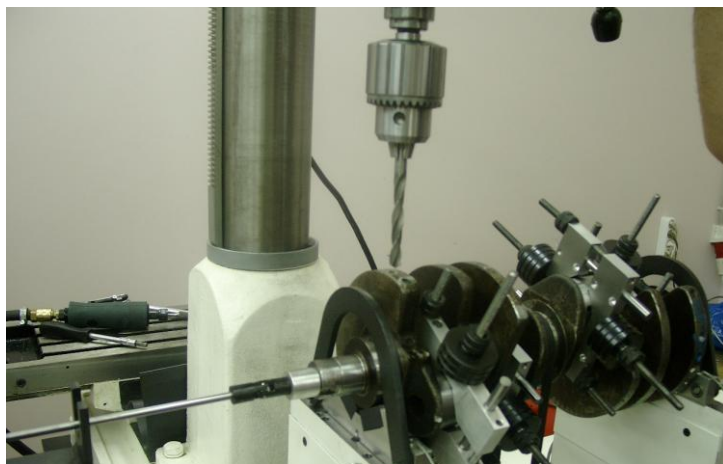


Рис. 12. Окончательная балансировка коленчатого вала с учетом развесовки поршней и шатунов

**При подготовке материала использована информация с сайта <http://www.motortehn.ru/Main/Machine/StanokDlyaDinamicheskoyBalansirovkiKolenchatykhValov.html>*

Библиографический список

1. Пучин Е.А. Технология ремонта машин / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский и др.; под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 448 с.
2. Богачев Б.А. Практикум по ремонту машин / Б.А.Богачев, А.А. Гаджиев, И.Н.Кравченко и др. – М.: КолосС, 2009. – 327 с.
3. Надежность и ремонт машин / под общ. ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
4. Тельнов Н.Ф. Ремонт машин. – М.: Агропромиздат, 1992. – 558 с.
5. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие / под ред. В.И. Черноиванова. – М.;Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003.
6. Левит М.Е. Балансировка деталей и узлов / Левит М.Е., Рыженков В.М. – М.: 1986. – 248с., ил.
7. Вибрации в технике: справочник. Т.6: Защита от вибрации и ударов / под ред. К.В. Фролова, 1981. – 456 с., ил.
8. ГОСТ 19534-74. Балансировка вращающихся тел. Термины.
9. ГОСТ 20076-89. Станки балансировочные. Нормы точности.
- 10.ГОСТ 22061-76. Система классов точности балансировки. Основные положения.
- 11.ISO 1940. Качество балансировки вращающихся жестких тел.
- 12.ISO 2953-85. Балансировочные станки – описание и оценка.
- 13.ISO 2953-1999(E). Mechanical vibration – Balancing machines – Descriptions and evaluation.
- 14.Динамическая балансировка – увеличение ресурса работы вашего двигателя[Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mortortehn.ru / Main/Technologies/Technologies.html](http://www.mortortehn.ru/Main/Technologies/Technologies.html)
- 15.Балансировка деталей и сборочных единиц. [Электрон.ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avcd.ru/balansirovka-detaley-i-sborochnyih-edinits.html>.
- 16.Теоретические основы балансировки [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.bvi.od.ua/balancing_consulting.htm#calculate
- 17.Балансировочные станки. Модернизация балансировочных станков, ремонт балансировочных станков. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.stmsm.ru/modernization_bm.htm

Составители: **Хрянин Виктор Николаевич,
Илясов Александр Петрович,
Зенкова Надежда Ивановна**

Технология ремонта машин

БАЛАНСИРОВКА УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Методические указания
к лабораторно-практической работе**

Редактор
Компьютерная верстка

Подписано к печати 2021 г. Формат 60 × 84^{1/16}
Объем 2,2 уч.-изд. л. Изд. № 223 Заказ №
Тираж 100 экз.

Отпечатано в мини-типографии Инженерного института НГАУ
630039, Новосибирск, ул. Никитина, 147