

Особенности балансировки роторов турбокомпрессоров автотракторных двигателей при ремонте

В.В. Власкин

*ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им.Н.П. Огарева»,
г. Саранск*

Аннотация: Деталью определяющей ресурс подшипникового узла турбокомпрессора является вал ротора. При ремонте после восстановления работоспособности вала ротора он подвергается динамической балансировке, с целью обеспечения минимально допустимого дисбаланса. В настоящее время в ремонтном производстве широко используются стенды на базе микропроцессорного двухплоскостного балансировочного прибора ПБ-02М.

В статье рассматриваются особенности процесса динамической балансировки восстановленных роторов в условиях ремонтного производства. При этом необходимо проведение балансировки в несколько этапов. В статье представлен общий алгоритм балансировки роторов на балансировочных стендах, оснащенных измерительной системой на базе прибора ПБ-02М, который позволяет производить балансировку деталей с необходимой точностью. Это обеспечит высокий послеремонтный ресурс отремонтированного узла и всего турбокомпрессора в целом.

Ключевые слова: турбокомпрессор, ротор, ремонт, восстановление, станок, балансировка, настройка, дисбаланс, прибор, алгоритм.

Одним из эффективных способов повышения мощности автотракторных двигателей, широко используемым в настоящее время является применение турбокомпрессоров, как основных агрегатов системы турбонаддува [1]. Как известно, ресурс турбокомпрессоров (далее ТКР) в первую очередь определяется надежностью подшипникового узла, который должен обеспечивать работоспособность во всем диапазоне частот вращения ротора (в некоторых моделях до 250000 об/мин) в течение всего ресурса работы двигателя. Однако, по данным исследований и отзывам эксплуатирующих организаций, срок службы большинства ТКР значительно ниже, чем двигателей, на которых они используются. Это в большей степени связано с несоблюдением режимов эксплуатации и низким качеством работ при техническом обслуживании. Таким образом, в течение межремонтного периода работы двигателя, турбокомпрессор подлежит замене несколько раз.

В связи с высокой стоимостью новых турбокомпрессоров, достигающей 150 тыс. рублей, в зависимости от производителя и модели, постоянно увеличивается спрос на их ремонт.

Деталью определяющей ресурс подшипникового узла, а следовательно и всего агрегата является вал ротора с колесом турбины. При этом он является самой дорогостоящей деталью турбокомпрессора, по данным интернет источников его стоимость для различных моделей ТКР может достигать до 15 тыс. рублей. Себестоимость же восстановления вала ротора турбокомпрессора ТКР-6 по данным 2017 года с учетом балансировки и разборочно-сборочных операций составляла 23% от себестоимости ремонта ТКР [2] и не превышала 850 руб. Для других моделей турбокомпрессоров это значение будет отличаться незначительно. Таким образом, восстановление работоспособности вышедших из строя валов роторов турбокомпрессоров для ремонтных предприятий является актуальной задачей. Это позволит значительно сократить расходы на запасные части, снизить стоимость ремонта для потребителей, чем обеспечить повышение конкурентоспособности продукции.

Для восстановления работоспособности деталей машин разработано множество методов и их комбинаций [3-5]. Некоторые из них эффективно применяются при ремонте валов роторов турбокомпрессоров [6,7]. При этом могут быть получены три варианта размеров рабочей части вала под подшипники. Уменьшенные до свободных ремонтных размеров – получаемых после удаления следов износа шлифованием; с номинальными размерами или увеличенными размерами, при использовании методов восстановления с нанесением слоя металлопокрытия.

При нанесении слоя металлопокрытия могут изменяться параметры микрогеометрии восстанавливаемой поверхности и физико-механические свойства поверхностного слоя. Уменьшение диаметра вала ограничено

толщиной закаленного поверхностного слоя (например, для валов турбокомпрессоров ТКР-6 толщина закаленного слоя составляет около 1мм [8]), снижением прочности вала, изменением частот критических собственных колебаний детали и переводом их в рабочий диапазон частот вращения ротора [9]. Несмотря на эти ограничения, в настоящее время данный метод ремонта применяется наиболее широко.

При изготовлении вала ротора последней операцией является динамическая балансировка в двух плоскостях колеса турбины. В зависимости от производителя эта операция может производиться на различном оборудовании, как в ручном, так и в автоматизированном режимах. При проведении ремонтных работ также требуется проводить динамическую балансировку данной детали. Это связано с изменением диаметра вала, а следовательно и его массы. В ремонтном производстве чаще всего используются балансировочные станды, работающие в ручном режиме (удаление массы металла для уменьшения дисбаланса производится оператором). На ремонтных предприятиях достаточно широко используются балансировочные станки с измерительной системой на базе микропроцессорного двухплоскостного балансировочного прибора ПБ-02М (например, станки для балансировки роторов БВИ-03-09Т, БВИ-03-10Т, балансировочного станка модели ДБС-Т1 (для балансировки ротора турбокомпрессора в собственных опорах) и другие). Основные технические характеристики прибора представлены в таблице №1.[10]

Таблица № 1

Основные технические характеристики прибора ПБ-02М

Параметры	Прибор ПБ-02М
Число плоскостей коррекции ротора:	2 (измерение проводится одновременно)

Система измерения координат:	Полярная
Диапазоны рабочих скоростей при балансировке, об/мин:	200-10000 (с возможностью расширения в любую сторону)
Единицы измерения скорости вращения ротора:	об/мин
Представление величины дисбаланса:	в граммах, гмм, гсм, гмм/кг
Дискретность измерения величины дисбаланса:	не менее 0.1 от величины допустимого дисбаланса
Дискретность измерения угла:	1 градус
Объем энергонезависимой памяти: - настроек роторов: - результатов измерений:	20 100

Станок для балансировки роторов БВИ-03-09Т с измерительной системой на базе микропроцессорного двухплоскостного балансировочного прибора ПБ-02М представлен на рис. 1.



Рис. 1. – Станок для балансировки роторов БВИ-03-09Т с прибором ПБ-02М

Программное обеспечение данной измерительной системы позволяет выполнять настройку станка методом пробных пусков на серийных роторах с начальным дисбалансом, что исключает трату времени на изготовление эталонного ротора и проведение условной балансировки.

При использовании измерительной системы на базе прибора ПБ-02М для балансировки роторов турбокомпрессоров необходимо учитывать некоторые особенности ремонтного производства:

- в ремонте одновременно могут находиться турбокомпрессоры различных моделей, и, следовательно, с разными роторами, отличающимися конструктивными параметрами и массой;

- после проведения операций восстановления вала ротора для одной и той же модели турбокомпрессора диаметр поверхностей под подшипник будет отличаться от ротора к ротору.

В данных условиях не представляется возможным пользоваться данными настроек на разные типы роторов, сохраненными в памяти прибора ПБ-02М. Поэтому процесс настройки проводится для каждого балансируемого ротора. Это увеличивает время балансировки, однако позволяет избежать ошибок, вызванных отклонениями диаметров и масс деталей при определении величин дисбалансов. И, следовательно, повысить точность балансировки и доведения величин дисбалансов до допустимых значений. При этом процесс балансировки для каждого ротора турбокомпрессора будет состоять из двух этапов: настройки и последующей балансировки.

При настройке на каждый конкретный ротор в плоскости коррекции последовательно устанавливается контрольный груз определенной массы. Масса груза выбирается для определенной модели ротора и должна в 5 - 10 раз превышать величину допустимого дисбаланса $D_{\text{доп}}$. (для большинства роторов турбокомпрессоров автотракторных двигателей $D_{\text{доп}}$ составляет от 1

до 2 г*мм в зависимости от модели). Для устранения дисбаланса применяется метод снятия металла с колеса турбины в двух плоскостях коррекции.

В процессе настройки измерительной системы на балансировку ротора возможна ситуация, при которой начальный дисбаланс значительно превышает допустимый (до нескольких десятков и сотен раз). Это может быть связано, например, с удалением большого слоя материала для выведения следов износа опорных шеек вала ротора под подшипники. В этом случае при попытке настроиться на конкретный ротор на дисплее прибора появляется надпись: «Начальный дисбаланс слишком велик! Необходимо увеличить контрольный груз». Это означает, что влияние контрольного груза меньше 20% от начального дисбаланса, что может привести к некорректным результатам настройки и ошибке при дальнейшей балансировке. В таких случаях в технологический процесс вводятся дополнительные этапы предварительной балансировки. В зависимости от величины начального дисбаланса ротора их может быть несколько. В общем случае, с учетом возможности предварительной балансировки, алгоритм работы на станке с рассматриваемой измерительной системой представлен на рис. 2.

Предложенный подход в комплексе с измерительной системой на базе микропроцессорного двухплоскостного балансировочного прибора ПБ-02М позволяет проводить динамическую балансировку восстановленных валов роторов турбокомпрессоров с необходимой точностью. В том числе и при значительных величинах начального дисбаланса, за счет предварительной настройки и балансировки при увеличенной массе контрольного груза. За несколько таких этапов массу контрольного груза уменьшают и доводят до нормальных значений. Затем проводят окончательную балансировку до допустимых величин дисбаланса. Все это позволит повысить ресурс работы вала ротора турбокомпрессора, за счет снижения центробежных сил от неуравновешенных масс и как следствие снижение величин износа

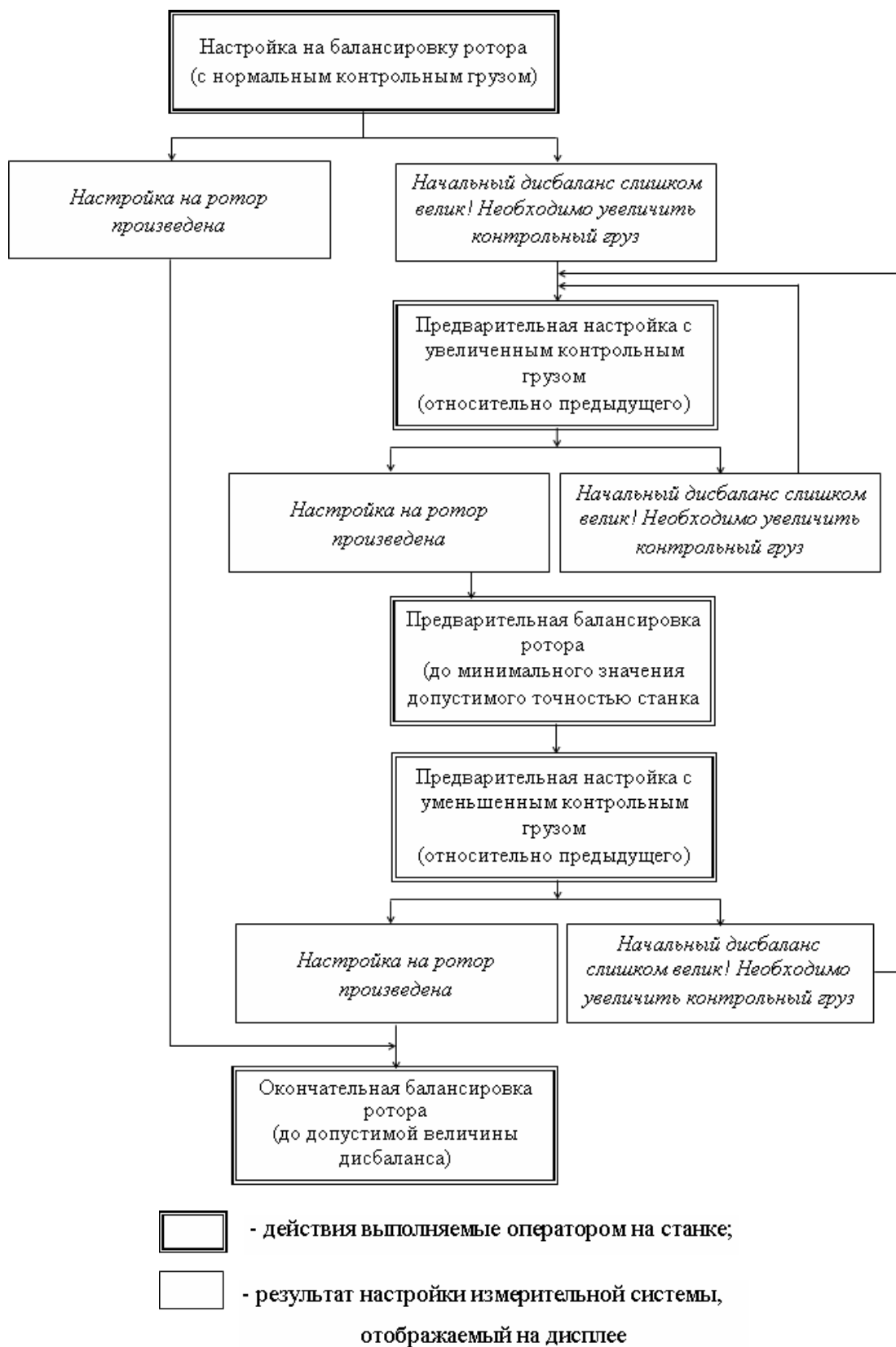


Рис. 2. - Алгоритм работы на балансировочном станке с измерительной системой на базе прибора ПБ-02М.

сопрягаемых поверхностей вала ротора и подшипника. Увеличение ресурса подшипникового узла позволит повысить ресурс турбокомпрессора в целом.

Рассматриваемый прибор может работать как самостоятельно, так и совместно с персональным компьютером. Для связи используется специальная программа. Использование программы-приложения повышает наглядность указания места дисбаланса, позволяет создавать отчеты о результатах балансировки, рассчитывать величины допустимых остаточных дисбалансов и сохранять результаты балансировки на жестком диске. Данный измерительный комплекс можно использовать как для практических целей – проведения балансировки роторов при ремонте турбокомпрессоров, так и для проведения исследований, связанных с изучением величин дисбаланса роторов после эксплуатации, при изучении влияния методов восстановления на величину дисбаланса и др. Результаты данных исследований могут быть использованы при разработке новых методов восстановления валов роторов турбокомпрессоров.

Литература

1. Vistamehr, A. Analysis of automotive turbocharger nonlinear vibrations including bifurcation: a thesis master of science. – Texas A&M University, 2009. – 100 p.
2. Комаров В.А., Лезин П.П., Власкин В.В., Овчинников А.Ю. Ремонт турбокомпрессоров двигателей сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2017. № 8. С. 40-45.
3. Фомин А.И Совершенствование технологии восстановления чугунных коленчатых валов электроконтактной приваркой стальной ленты через промежуточный слой: дис канд.тех.наук 05.20.03– Саранск: МГУ им. Н.П. Огарева, 2012. – 200 с.
4. Червяков С.В., Столяров А.В., Давыдкин А.М. Технологические рекомендации по ремонту рулевых механизмов автомобилей КАМАЗ //

Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5275.

5. Власкин В.В, Овчинников А.Ю., Князева Н.Ю. Применение метода установки дополнительной детали при ремонте турбокомпрессоров системы газотурбинного наддува двигателей внутреннего сгорания (на примере ТКР-6) // Инженерный вестник Дона. 2015. №2 (часть 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3016/.

6. Dykhuizen, R.C. Smith M.F. Gas dynamic principles of Cold Spray/R.C. Dykhuizen, Journal of Thermal Spray Technology. 1998. Vol.7, № 2. pp. 205-212.

7. Сайфуллин Р.Н., Наталенко В.С., Павлов А.П., Фархшатов Д.М. Совершенствование технологического процесса ремонта турбокомпрессоров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. № 8. С.5-9.

8. Овчинников А.Ю., Власкин В.В. Исследование микротвердости валов турбокомпрессоров ТКР-6 // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2014. С. 315-321.

9. Сенин П.В., Власкин В.В., Овчинников А.Ю. Анализ резонансных частот вала ротора турбокомпрессора ТКР-6 // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 7. С. 36–39.

10. Микропроцессорный двухплоскостной балансировочный прибор ПБ-02М // Викат-М. Продукция. URL: vikatm.com/pb-02.htm (дата обращения: 15.12.2018).

References

1. Vistamehr, A. Analysis of automotive turbocharger nonlinear vibrations including bifurcation : a thesis master of science. Texas A&M University, 2009. 100 p.

2. Komarov V.A., Lezin P.P., Vlaskin V.V., Ovchinnikov A.Ju. Tehnika i oborudovanie dlja sela. 2017. № 8. pp. 40-45.

3. Fomin A.I. Sovershenstvovanie tehnologii vosstanovlenija chugunnyh kolenchatyh valov jelektrokontaktnoj privarkoj stal'noj lenty cherez promezhutochnyj sloj [Improving technology recovery iron crankshafts electrocontact welding steel strip through an intermediate layer]: dis kand.teh.nauk 05.20.03. Saransk: MGU im. N.P. Ogareva, 2012 .200 p.

4. Chervyakov S.V., Stolyrov A.V., Davydkin A.M., Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5275.

5. Ovchinnikov A.Yu., Vlaskin V.V., Knyazeva N.Yu. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2015. №2 (part 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3016/

6. Dykhuizen, R.C. Journal of Thermal Spray Technology. 1998. Vol. 7, № 2. pp. 205-212.

7. Sajfullin R.N., Natalenko V.S., Pavlov A.P., Farhshatov D.M. Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. 2011. № 8. pp.5-9

8. Ovchinnikov A.Ju., Vlaskin V.V. Issledovanie mikrotverdosti valov turbokompressorov TKR-6 [The study of the microhardness of the shafts of turbochargers TKR-6]. Jenergojeffektivnye i resursosberegajushhie tehnologii i sistemy. Saransk: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogarjova, 2014. pp. 315-321.

9. Senin P.V., Vlaskin V.V., Ovchinnikov A.Ju. Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. 2015. № 7. pp. 36–39.

10. Mikroprocessornyj dvuhploskostnoj balansirovochnyj pribor PB-02M [Microprocessor-based two-plane balancing device PB-02M]. Vikat-M. Produkcija. URL: vikatm.com/pb-02.htm (data obrashhenija: 15.12.2018).