

УДК-621.515

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ РОТОРОВ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

© 2012 В. А. Антипов, Г. В. Лазуткин, С. В. Андриянов, С. А. Вельмин

Самарский государственный университет путей сообщения

Предложен способ послеремонтных испытаний высокооборотных роторов турбокомпрессоров. Показано, что разработанный стенд отличается существенной универсальностью и весьма широким диапазоном считываемой информации.

Турбомашина, методы испытания, стенд.

Современные отечественные и зарубежные турбокомпрессоры (ТК), как правило, высокооборотные, вследствие чего имеют ресурс существенно меньший, чем сама турбомашина. Из-за повышенной вибрации ротор, в частности, компрессорные и турбинные лопатки, опоры ротора, диски получают повреждения и нуждаются в ремонте чаще, чем, например, узлы статора. В дальнейшую эксплуатацию отремонтированный ротор может быть допущен только после проведения послеремонтных динамических испытаний. Известные способы испытаний и конструкции стендов [1, 2, 3] обладают рядом существенных недостатков.

Авторами создан метод испытаний турбокомпрессоров, изготовлен стенд для его реализации, разработана методика расчетных исследований.

Сущность способа заключается в том, что воздух высокого давления от пускового компрессора подают в поворотное сопло газоотводящего патрубка турбины, предварительно поворачивая сопло для создания прямого или обратного перепада давления в проточной части ТК, а измерения параметров потока по тракту ТК проводят как при прямом, так и при обратном перепаде давления в проточной части. Кроме того, измерения по тракту ТК проводят при снятом или заторможенном роторе.

Стенд для испытаний включает испытуемый ТК, состоящий из компрессора, турбины, входного напорного и газоотводящего патрубков; камеру сгорания и пусковой компрессор, соединенные с испытуемым турбокомпрессором

патрубками. Он дополнительно снабжен двухступенчатым эжектором, установленным за турбиной в газоотводном патрубке. Первая ступень эжектора снабжена диффузором и поворотным соплом, соединенным трубопроводом с пусковым компрессором, а вторая ступень снабжена диффузором с кольцевым соплом, соединенным трубопроводом с напорным патрубком ТК за камерой сгорания.

Достижимый технический результат заключается в расширении диапазона режимов испытаний ТК путем испытаний газоздушного тракта при снятом или заторможенном роторе с прямым и обратным направлением движения рабочего тела, что позволяет анализировать отдельно неподвижную и подвижную части ТК. Кроме того, наличие двухступенчатого эжектора, установленного за турбиной, позволяет снизить мощность пускового компрессора, особенно для перегрузочных режимов работы турбокомпрессора, что существенно снижает затраты на испытания. Кроме того, в конструкции стенда предусмотрена замена упругодемпферных опор (УДО) роторов, потребная при совершенствовании их конструкции или при сравнительных испытаниях УДО различных конструкций. Кроме того, предлагаемые способ и стенд испытаний ТК позволяют путем измерений определить величину кромочных, профильных и иных потерь отдельно в подвижных и неподвижных частях газоздушного тракта турбокомпрессора, а также производить испытания турбокомпрессора с частотой вращения ротора выше номинальной, т.е. в режимах с

перегрузкой. При этом диапазон испытаний режимов работы ТК расширяется от частоты вращения ротора, равной нулю, до предельной, определяемой прочностью конструкции без применения пускового компрессора с мощностью, превышающей мощности испытуемого ТК.

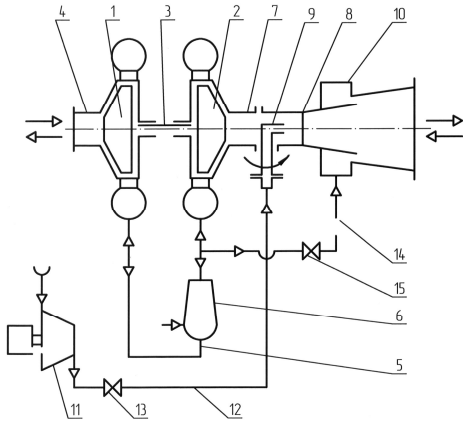


Рис. 1. Принципиальная схема стенда

Стенд (рис. 1) содержит испытуемый ТК 1 с турбиной 2 и общим ротором 3, газовоздушный тракт в составе всасывающего патрубка 4 напорного патрубка 5 с камерой сгорания 6 и газоотводного патрубка 7, двухступенчатый эжектор 8 с осевым поворотным соплом 9 первой ступени и периферийно-кольцевым соплом 10 второй ступени. Пусковой компрессор 11 с патрубком 12 подключен при помощи клапана 13 к соплу 9. Сопло 10 подключено трубопроводом 14 при помощи клапана 15 к напорному патрубку 5 за камерой сгорания.

На стенде, включающем испытуемый турбокомпрессор 1, 2 и 3, газовоздушный тракт с камерой сгорания 6, всасывающий 4, напорный 5 и газоотводящий 7 патрубки с двухступенчатым эжектором 8 и пусковой компрессор 11, производят подготовку к испытаниям. Для этого на первом этапе вначале снимают ротор 3 турбокомпрессора. Затем пускают пусковой компрессор 11 и подают сжатый воздух на поворотное сопло 9 двухступенчатого эжектора 8, установленного в направлении по ходу рабочего тела и создают разрежение в газоотводном патрубке 7. При этом атмосферный воздух поступает через диффузоры эжектора 8 к соплу 9, смешивается с воздухом пускового

компрессора 11 в газоотводном патрубке 7 и далее проходит последовательно через сопловый аппарат и улитку турбины 2, напорный патрубок 5 с камерой сгорания 6, улитку и диффузор компрессора 1 и через всасывающий патрубок 4 выбрасывается в атмосферу. При таком обратном движении воздуха определяют его расход, температуру и перепады давлений по газовоздушному тракту, что позволяет определить сопротивление элементов газовоздушного тракта и судить о состоянии изготовления и монтажа элементов, включая выходные кромки диффузора компрессора 1 и соплового аппарата турбины 2 с улитками.

На втором этапе испытаний устанавливают ротор 3 турбокомпрессора на место и укрепляют его в неподвижном состоянии. После этого производят аналогичные испытания турбокомпрессора и газовоздушного тракта в прямом и обратном направлениях движения воздуха. Это позволяет получить характеристики элементов газовоздушного тракта и сравнить их со значениями, полученными на первом этапе. В этом случае оказывается возможным судить об аэродинамике рабочих колес компрессора 1 и турбины 2 с учетом аэродинамики диффузора, соплового аппарата и улиток компрессора и турбины.

На третьем этапе ротор 3 компрессора освобождается от тормоза и при подаче воздуха от пускового компрессора 11 к поворотному соплу 9 двухступенчатого эжектора 8, установленного в направлении по ходу рабочего тела, турбокомпрессор вводится в действие. При этом снимаются характеристики турбокомпрессора на «холостом ходу», который устанавливается в зависимости от расхода воздуха, поступающего от пускового компрессора 11 к соплу 9 эжектора 8. Это позволяет определить характеристики «холодного» стенда при одинаковом массовом расходе рабочего тела через компрессор 1 и турбины 2. При этом не требуется определения отдельно расходов рабочего тела через компрессор 1 и турбину 2. Испытания «холодного» стенда позволяют оценить совершенство аэродинамических характеристик газовоздушного тракта компрессора и турбины, поскольку

исключается погрешность в определении расходов рабочего тела.

На четвертом этапе осуществляют испытания турбокомпрессора с подводом топлива в камеру сгорания 6 для увеличения температуры газов перед газовой турбиной 2. На этом этапе снимаются рабочие характеристики турбокомпрессора, включая частоту вращения ротора 3. Определяются условия запираания соплового аппарата турбины 2, которые способны вызвать помпажные явления в проточной части компрессора 1, находятся границы устойчивой работы турбокомпрессора. На последнем, пятом этапе осуществляют испытания турбокомпрессора со сбросом части рабочего тела из напорного патрубка 5 во вторую ступень эжектора с кольцевым соплом 10. При этом увеличивается разреженное в газоотводном патрубке 7, при котором растет перепад давлений на турбине 2 и ее мощность, а ротор 3 раскручивается до частоты вращения выше номинальной. Этот этап позволяет производить испытания турбокомпрессора на достижение предельной частоты вращения ротора вплоть до разрушения. В результате расширяется диапазон испытаний турбокомпрессора при мощности пускового компрессора 11 ниже испытываемого.

В сравнении с известными конструкциями стенд обеспечивает получение потребных характеристик при снятом роторе ТК с движением воздуха в прямом и обратном направлениях; получение характеристик при

заторможенном роторе ТК с движением воздуха в прямом и обратном направлениях; получение характеристик при испытании роторов с УДО различных типов, получение характеристик на холостых ходах ротора испытываемого ТК при одинаковом расходе воздуха через проточную часть ТК и газоздушный тракт. Кроме того, повышается частота вращения ротора ТК с парциальной или полнопроточной турбиной от номинальной до предельной при мощности пускового компрессора ниже испытываемого.

В результате стенд позволяет существенно расширить диапазон испытаний ТК и снизить мощность пускового компрессора.

Полученные в результате испытаний данные дают возможность исследовать особенности решения дифференциального уравнения движения ТК. В результате можно получить значения коэффициентов усиления на резонансе и резонансных частотах, что дает возможность сделать мотивированное заключение о пригодности ротора к дальнейшей эксплуатации.

Библиографический список

1. Авторское свидетельство СССР №974190, кл. G01M 15/00, 1982г.
2. Авторское свидетельство СССР №976130, кл. F04B 51/00, 1982г.
3. Авторское свидетельство СССР №1016723, кл. G01M 15/00, 1983г.

STAND FOR TESTING TURBOCHARGER ROTOR

© 2012 V. A. Antipov, G. V. Lazutkin, S. V. Andrianov, S. A. Velmin

Samara State Transport University

A method for testing rotor assemblies boost high-speed diesel engines after repairs and stand for its implementation. It is shown that the developed significant stand of different flexibility and a very wide range of readable information.

Turbomachine, test methods, the way stand comparison.

Информация об авторах

Антипов Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной графики, Самарский государственный университет путей сообщения. E-mail:

Oм46@mail.ru. Область научных интересов: виброзащита агрегатов и узлов машин и механизмов транспортного машиностроения.

Лазуткин Геннадий Васильевич, аспирант, Самарский государственный университет путей сообщения. E-mail: Oм46@mail.ru Область научных интересов: динамика и прочность машин.

Андриянов Сергей Васильевич, аспирант, Самарский государственный университет путей сообщения. E-mail: andrijanow@mail.ru. Область научных интересов: виброзащита агрегатов и узлов машин и механизмов транспортного машиностроения.

Вельмин Сергей Александрович, аспирант, Самарский государственный университет путей сообщения. E-mail: velmins@mail.ru. Область научных интересов: динамика и прочность машин.

Antipov Vladimir Aleksandrovich, Ph.D., professor of engineering graphics, Samara State Transport University. E-mail: Oм46@mail.ru. Area of research: vibroprotection units and units of machinery transport engineering.

Lazutkin Gennady Vasilievich, a graduate student Samara State Transport University. E-mail: Oм46@mail.ru. Area of research: dynamics and strength of machines.

Andrianov Sergey Vasilievich, a graduate student, Samara State Transport University. E-mail: andrijanow@mail.ru. Research interests: vibroprotection units and units of machinery transport engineering.

Velmin Sergei Aleksandrovich, post graduate student, Samara State Transport University. E-mail: velmins@mail.ru. Area of research: dynamics and strength of machines.