

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЙ И ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ КОМПРЕССОРНЫХ МАШИН

Погребняк А.В., ХНАДУ, Евтушенко А.В., Кравец А.М.,
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта

***Аннотация.** Кратко описан стенд для исследования уплотнений и подшипниковых узлов компрессорных и турбокомпрессорных машин, позволяющий производить исследования и доводку уплотнений и подшипниковых узлов компрессорных машин на стадии рабочего проектирования с целью проверки конструктивных решений.*

***Ключевые слова:** стенд, уплотнения, подшипники скольжения, пневмогидросхема, натурные испытания, система измерений.*

Введение

В настоящее время в турбомашинных агрегатах тяжелого типа для герметизации валов в основном применяются лабиринтные, щелевые и торцевые уплотнения. Лабиринтное уплотнение является расходным и малоэффективным. Недостатком щелевых уплотнений являются довольно значительные безвозвратные расходы масла и наличие малого радиального зазора в уплотнении. Торцевые уплотнения имеют сложную конструкцию, требуют высокой точности и чистоты обработки при изготовлении, а также предъявляют повышенные требования к степени очистки масла.

Устойчивый рост окружных скоростей, и в результате этого, более жесткие условия эксплуатации агрегатов затрудняют успешное использование традиционных методов уплотнения. В этой связи возникает необходимость развития новых методов уплотнения вращающихся валов и, соответственно, создание нового технологического оборудования для их исследования и доводки на стадии рабочего проектирования с целью проверки конструктивных решений.

Анализ публикаций

Анализ материалов, связанных со стендовым исследованием уплотнений и подшипниковых узлов (подшипники скольжения [1–3], выявил, что практически работы в этом направлении не ведутся. Есть ряд стендов, на которых можно производить исследования и доводку моделей всех основных элементов проточной части компрессорных машин [4–6]. Одна разработка ВНПО «Союзтурбогаз» [1] позволяет только иссле-

довать уплотнения. Универсальный стенд отсутствует. Исходя из вышеизложенного сформулированы цель и задачи.

Цель и постановка задачи

Наиболее характерными неисправностям компрессорных машин в процессе их эксплуатации являются выходы из строя подшипниковых узлов, заклинивание роторов, «помпаж» компрессоров, трещины в газоприемном корпусе, повреждение рабочих лопаток, разрушение уплотнений. Поэтому возникла необходимость создания нового технологического оборудования, позволяющего производить исследования и доводки уплотнений и подшипниковых узлов компрессорных машин на стадии рабочего проектирования с целью проверки конструктивных решений, а также анализ их работоспособности при так называемых параметрических испытаниях (после плановых ТО и ТР). Доводка и исследование данных узлов может производиться на модельном стенде, назначение, принципиальная схема и работа которого представлена в этой статье.

Назначение, принципиальная схема и работа стенда

Предлагаемый стенд предназначен для проведения испытаний уплотнений и подшипниковых узлов различных типов, т.к. эти узлы, независимо от их типа, требуют практически одинаковых вспомогательных систем стенда, а также практически одной и той же системы измерений. Стенд позволит проводить натурные испытания контактных, бесконтактных и комбинированных уплотнений, опорных и упорных гидродинамических и гидростатических подшипников.

Одновременно разработан и изготовлен модельный стенд, позволяющий решать вопросы исследований уплотнений в процессе проектирования опытных образцов.

Принципиальная пневмогидросхема представлена на рис. 1.

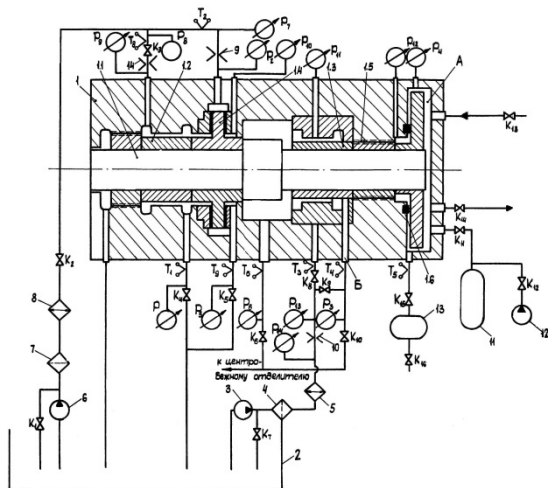


Рис. 1. Принципиальная пневмогидросхема стенда для исследования уплотнений и подшипниковых узлов компрессорных машин

Стенд состоит из испытательного агрегата, приводимого во вращение через редуктор моторгенераторной установкой, систем маслогазоснабжения и контрольно-измерительной аппаратуры. Мощность моторгенераторной установки – 120 кВт. Передаточное число редуктора – 10. Частота вращения вала испытательного агрегата – 3000–10000 мин⁻¹.

Испытательный агрегат 1 состоит из вала 1.1, размещенного в корпусе на двух опорных подшипниках скольжения 1.2 и 1.3, упорного подшипника 1.4 и испытываемых уплотнений 1.5 и 1.6. Испытательный агрегат позволяет легко менять исследуемые подшипники и уплотнения. Так, на рис. 2 показана часть вала с передним опорным подшипником. Из этого рисунка видно, что на вал может насаживаться втулка различных диаметров (от 80 до 140 мм). Конструкция испытательного агрегата за счет разности давлений в полости А (рис. 1) и на выходе вала из корпуса испытательного агрегата позволяет создавать осевое усилие на вал до 100000 Н.

Масляная система стенда служит для смазки и охлаждения подшипников скольжения и для подачи масла на испытываемое уплотнение.

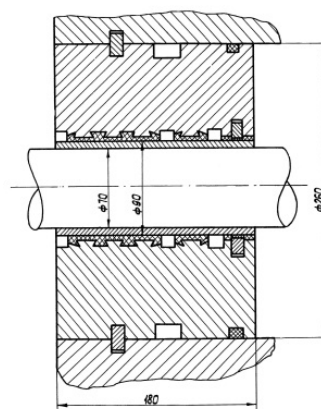


Рис. 2. Вариант сменного опорного подшипника

Масляная система стенда состоит из масляного бака 2 (рис. 1), двух масляных насосов 3 и 6, предназначенных для подачи масла на подшипники и уплотнения, двух фильтров тонкой очистки 4 и 7, двух маслоохладителей 5 и 8 и кранов К₁...К₁₀. Масляный насос 3 марки ЗВ-2,5/100 служит для подачи масла на уплотнение 1.5 и опорный подшипник 1.3. Тип насоса – вертикальный, трехвинтовой. Мощность – 13 кВт. Давление нагнетания – до 100 кг/см². Масляный насос 6 служит для подачи масла на опорный подшипник 1.2 и упорный подшипник 1.4. Тип насоса – шестеренчатый. Мощность – 2,2 кВт. Давление нагнетания – до 4 кг/см². Производительность – 110 л/мин.

Система газоснабжения стенда служит для подачи газа или сжатого воздуха в полость А испытательного агрегата (рис. 1). Подача сжатого воздуха осуществляется из баллона 11 или от компрессора 12 при помощи кранов К₁₁ и К₁₂. Подача природного газа осуществляется путем подключения к газопроводу посредством крана К₁₃.

Рассмотрим процесс *запуска моторгенераторной установки*.

Перед запуском моторгенераторной установки необходимо прогреть масло в баке и обеспечить определенный расход масла через опорный и упорный подшипники. Для этого закрываются краны К₂, К₈ и К₉ и открываются К₁ и К₇. После включения насосов 3 и 6 масло циркулирует по контурам: а) масляный бак 2 – насос 3 – масляный бак 2; б) масляный бак 2 – насос 6 – масляный бак 2. После прогрева масла открываются краны К₆, К₈, К₁₀, К₂...К₅ и прикрываются краны К₁ и К₇. Стенд готов к работе.

Работа стенда при испытании опорного подшипника скольжения начинается с запуска моторгенераторной установки (см. выше).

После прогрева масло из бака 2 через фильтр тонкой очистки 7, теплообменник 8 и диафрагму 9 поступает на опорный подшипник. Масло из бака 2 через фильтр тонкой очистки 4, теплообменник 5 и диафрагму 10 подается на опорный подшипник и уплотнение. Наличие кранов K_8 и K_{10} позволяет создавать различное давление масла перед опорным подшипником. С помощью теплообменника 5 можно изменять температуру масла, проходящего через подшипник. Давление масла на входе в опорный подшипник измеряется при помощи манометра P_{13} , а на сливе – при помощи манометров P_3 и P_6 . Температура масла на входе в подшипник измеряется термомпарами T_3 или T_4 , на выходе – T_4 и T_6 . Расход масла через подшипники измеряется с помощью диафрагмы 10 и манометров P_{13} и P_{14} .

Работа стенда при испытании упорного подшипника скольжения также начинается с прогрева моторгенераторной установки. Осевое усилие на упорный подшипник создается поддавливанием воздухом или газом из полости А (рис. 1). Для этого, если поддавливается воздух, открываются краны K_{11} и K_{12} и воздух из баллона 11 и компрессора 12 подается в полость А, создавая давление на ротор установки.

При помощи редуктора сжатого воздуха можно регулировать осевое давление на упорный подшипник. Если полость А поддавливается природным газом, то подключение газа осуществляется краном K_{13} , давление газа (воздуха) в полости А измеряется манометром P_4 . Давление масла на входе в упорный подшипник измеряется манометром P_2 , температура – термопарой T_2 , давление масла на сливах – манометрами P_5 , P_1 , P_8 , температура – термомпарами T_8 , T_1 , T_9 . Расход масла через упорный подшипник измеряется при помощи диафрагмы 9, манометров P_7 и P_2 и дифманометра.

Работа стенда при испытании уплотнений также начинается с запуска моторгенераторной установки (см. выше). Поддавливание полости А воздухом или газом описано выше. Утечка масла измеряется при открытом кране K_{15} мерным бачком 13. Измерение параметров масла и газа в полостях А и Б описано выше.

Система измерений

Система измерений предназначена для измерения основных параметров при исследовании уплотнений и подшипниковых узлов. Так, при исследовании уплотнений не-

обходимо производить измерения давлений и температур на входе и выходе из уплотнений, частоты вращения вала испытательной головки. Кроме этого, требуется производить ряд специальных измерений: утечек через уплотнение, эксцентриситета вала при испытаниях бесконтактных динамических уплотнений, неплоскостности контактных поверхностей при испытаниях торцевых уплотнений.

При исследовании подшипниковых узлов необходимо производить измерения давлений и температур на входе и выходе из подшипника, расхода масла через подшипники, частоты вращения вала испытательной головки. К специальным измерениям при исследовании подшипников можно отнести измерение эксцентриситета вала, измерение величин перекоса при испытаниях упорных подшипников, измерение осевых и радиальных усилий и т.д.

Наличие тех или иных измерений неразрывно связано с целью проводимых испытаний, поэтому количество измеряемых параметров может быть различным.

Измерение таких величин, как эксцентриситет вала, неплоскостность контактных поверхностей, перекос упорных вкладышей относительно пяты осуществляется индуктивными датчиками с помощью специальной аппаратуры. Методика измерения перемещений вращающегося ротора в вертикальной и горизонтальной плоскостях подробно описана в работе [3].

Для измерения утечки газа через уплотнение предусмотрено устройство для отвода и сбора утечки. Утечка определяется объемным способом на заданном режиме работы за определенный промежуток времени.

На модельном стенде предусмотрена система визуального наблюдения и фотокинесъемки картины течения.

Выводы

Таким образом, предложенный стенд позволяет исследовать и доводить уплотнения и подшипниковые узлы как на стадии рабочего проектирования, с целью проверки конструктивных решений, так и на стадии послеремонтного обслуживания (проверка работоспособности отремонтированных узлов и, при необходимости, их доводка).

Литература

1. Исследования работоспособности винтовых и лабиринтно-вихревых уплотнений

- вращающихся валов: отчет по НИР (2 этап) ВНПО «Союзтурбогаз»; рук. Погребняк В.В.; испол.: Батвинов Л.П. [и др.]. № гос. регистрации 76011084. – Харьков, 1976. – 64 с.
2. Рахмилевич З.З. Испытания и эксплуатация энерготехнологического оборудования / З.З. Рахмилевич. – М.: Химия, 1981. – 384 с.
 3. Артеменко Н.П. Стенд для исследования высокоскоростных гидростатических опор и уплотнений быстроходных машин / Н.П. Артеменко // Сб. науч. трудов ХАИ. – 1993. – Вып. 1. – С. 30–35.
 4. Погребняк А.В. Принципы моделирования входных и выходных устройств для разработки стенда для дослідження елементів проточної частини компресорних машин / А.В. Погребняк // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2004. – Вип. 58. – С. 76–78.
 5. Погребняк А.В. Стенд для дослідження елементів проточної частини компресорних машин. Вимірювання витрат / А.В. Погребняк // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2004. – Вип. 58. – С. 78–83.
 6. Погребняк А.В. Принципова схема і робота стенда при продувці входних та вихідних пристроїв компресорних машин / А.В. Погребняк // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2004. – Вип. 58. – С. 83–86.
 4. Pohrebnyak, A.V. (2004). Pryntsypy modelyuvannya vkhidnykh i vykhidnykh prystroyiv dlya rozrobky stenda dlya doslidzhennya elementiv protochnoyi chastyny kompresornykh mashyn [Principles of design of entrance and output devices for development of stand for research of elements of running part of compressor machines]. *Zb. nauk. prats UkrDAZT - Collection of scientific works of the Ukrainian state academy of railway transport*, 58, 76-78 [in Ukrainian].
 5. Pohrebnyak, A.V. (2004). Stend dlya doslidzhennya elementiv protochnoyi chastyny kompresornykh mashyn. Vymiryuvannya vytrat [Stand for research of elements of running part of compressor machines. Measuring of expenses]. *Zb. nauk. prats UkrDAZT - Collection of scientific works of the Ukrainian state academy of railway transport*, 58, 78-83 [in Ukrainian].
 6. Pohrebnyak, A.V. (2004). Pryntsypova skhema i robota stenda pry produvti vkhidnykh i vykhidnykh prystroyiv kompresornykh mashyn [Fundamental chart and work of stand at to blowing out of entrance and output devices compressor machines]. *Zb. nauk. prats UkrDAZT - Collection of scientific works of the Ukrainian state academy of railway transport*, 58, 83-86 [in Ukrainian].

References

1. Issledovaniya rabotosposobnosti vintovyh i labirintno-vihrevykh uplotnenij vrashajushih-sja valov [Researches of capacity of spiral and labyrinth-vortical compressions of the revolved billows]: otchet po NIR (2 jetap): VNPO «Sojuzturbogaz»; ruk. Pogrebnyak V.V.; ispol.: Batvinov L.P. [i dr.]. № gos. registracii 76011084. Kharkov, (1976), 64 [in Russian].
2. Rahmilevich, Z.Z. (1981). Ispytaniya i jekspluatacija jenergotehnologicheskogo obrudovaniya [Tests and exploitation energy technological equipment]. Moscow: Himija [in Russian].
3. Artemenko, N.P. (1993). Stend dlja issledovaniya vysokoskorostnyh gidrostaticheskikh opor i uplotnenij bystrohodnyh mashin [Stand for research of high-speed hydrostatical supports and compressions high-speed machines]. *Sb. nauch. trudov HAI - Collection of scientific works of the Kharkov aviation institute*, 1, 30-35 [in Russian].
- Погребняк Андрій Валерійович, доцент, к.т.н, кафедра будівельних і дорожніх машин +38 067-397-56-72, gorinich_2008@ukr.net Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25;**
- Євтушенко Андрій Вікторович, доцент, к.т.н, кафедра будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин, +38 067-385-62-94, ave65@ukr.net Харківський державний університет залізничного транспорту, 61050, Україна, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7;**
- Кравець Андрій Михайлович, доцент, к.т.н, кафедра будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин, +38 050-503-98-23, kafspprm2@ukr.net Харківський державний університет залізничного транспорту, 61050, Україна, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.**

UNIVERSAL STAND FOR STUDYING SEALING AND BEARING UNITS OF COMPRESSOR MACHINES

Pogrebnyak A., KhNAHU,
Yevtushenko A., Kravets A., Ukrainian State
University of Railway Transport, Kharkiv

Abstract. The proposed stand is designed to test sealing and bearing units of various types, because these units, regardless of their type, require almost the same auxiliary stand systems, as well as practically the same measurement system. The stand allows carrying out in-situ tests of contact, non-contact and combined sealing, supporting and thrust hydrodynamic and hydrostatic bearings. **Problem.** The analysis of materials associated with the bench tests of sealing and bearing units revealed that practically no work is being conducted in this direction. Therefore, the need has arisen to create a universal stand that allows carrying out full-scale tests of sealing and bearing units of various types. This will also allow solving the problems of studying these objects when designing the prototypes. **Goal.** The goal is creation of new technological equipment that makes possible to carry out research and development of sealing and bearing units of compressor machines at the stage of working design for the purpose of verifying structural solutions, and also the analysis of their operability in the so-called parametric tests (after planned maintenance). **Methodology.** During operation irreversible changes occur in the design of compressors and turbo-compressors associated with the deterioration of the technical state of their structures, which cause permanent or sudden failures. Therefore, timely adjustment of the functional parameters of these units will make possible to obtain a significant fuel econ-

omy and ensure the operation of the units at the level of the calculated parameters. **Results.** A stand for full-scale inspection of sealing and bearing units of compressor machines was developed, a model stand was created, and a complex of studies of the dynamic sealing performance was carried out. The stand equipment and the monitoring equipment were chosen. **Practical value.** The proposed stand will allow investigating and bringing sealing and bearing units both at the stage of working design for the purpose of testing structural solutions and at the post-repair maintenance stage (checking the operability of the assemblies to be repaired and, if necessary, adjusting them).

Key words: test assembly, sealing unit, support bearing, thrust bearing, gas supply, pressure, temperature, speed, leakage, oil consumption.

УНІВЕРСАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ УЩІЛЬНЕНЬ ТА ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ КОМПРЕСОРНИХ МАШИН

Погребняк А.В., ХНАДУ, Євтушенко А.В.,
Кравець А.М., Український державний
університет залізничного транспорту

Анотація. Коротко дан опис стенда для дослідження ущільнень та підшипникових вузлів компресорних та турбокомпресорних машин, який дозволяє проводити дослідження і доводку ущільнень та підшипникових вузлів компресорних машин на стадії робочого проектування з метою перевірки конструктивних рішень.

Ключові слова: стенд, ущільнення, підшипники ковзання, пневмогідросхема, натурні випробування, система вимірювання.