

# Особенности создания стенда для испытаний малоразмерных двигателей и энергоустановок на базе установки с ТБК

**Жигунов М.М., Митрофанов К.Е.**

*Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва*

e-mail: dgigunov@ciam.ru

Изложены особенности проектирования технологических систем испытательного стенда на базе установки с ТБК для испытаний малоразмерных двигателей и энергоустановок. Приведены примеры нестандартных решений ряда технических задач в рамках модернизации стенда У-376 ЦИАМ. Предложенные решения могут быть успешно использованы при модернизации существующих или создании новых стендовых систем.

**Ключевые слова:** испытательный стенд, термобарокамера, технологическая система, воздушный контур, запорно-регулирующая арматура, силоизмерительная система.

## Features of creating a test facility for small-sized aviation engines and power plants based on a climatic test unit

**Zhigunov M.M., Mitrofanov K.E.**

*CIAM, Moscow*

This paper describes the design features of the technological systems of the test facility with climatic test unit for testing small aviation engines and power plants. It also gives examples of non-standard solutions to a number of technical problems that arose during the modernization of the U-376 CIAM test facility. The proposed solutions can be successfully implemented for upgrading existing or creating new facility systems.

**Keywords:** test facility, climatic test facility, technological system, air circuit, shut-off and control valves, force measuring system.

### Введение

В 2015 г. была поставлена задача обеспечить выполнение большого объема экспериментальных исследований опытных и серийных малоразмерных авиационных двигателей на стендах московской испытательной базы ЦИАМ. Использовать для этого один из рабочих стендов отделения 300 ЦИАМ, загруженных выполнением текущих высотно-климатических испытаний полноразмерных двигателей, оказалось нерационально. Было принято решение об использовании отдельного стенда с небольшой по размерам термобарокамерой (ТБК), способного воспроизводить диапазон полетных условий, аналогичный диапазону больших стендов. Учитывая, что создание нового стенда и введение его в эксплуатацию требует существенных экономических и временных затрат [1], наилучшим решением оказалось

восстановление и модернизация ранее законсервированного стенда У-376, как наиболее полно отвечающего поставленной задаче и не требующего большого объема восстановительных работ.

Восстановление стенда под разовую задачу экономически не выгодно, так как кроме прямых затрат на ввод стенда в эксплуатацию, необходимо также учитывать дальнейшие затраты на поддержание стенда в работоспособном состоянии (проведение планово-предупредительных работ по агрегатам и механизмам, работ по тарировке датчиков, калибровке измерительных каналов, повторной аттестации и т.д.) [2 – 5]. Вместе с тем, анализ развития современной авиационной техники и технологий выявил наличие определенного интереса к испытательной установке с небольшой по размерам ТБК со стороны как традиционных партнеров ЦИАМ, так и разработчиков новых силовых уста-

новок. Это подтвердило целесообразность создания стенда для испытаний малоразмерных двигателей и энергоустановок на базе установки У-376. Кроме того, ввод в эксплуатацию дополнительного стенда, оснащенного современным оборудованием и отвечающего современным требованиям проведения испытаний силовых установок [6, 7], способствует разгрузке московской испытательной базы ЦИАМ и увеличению общего объема проводимых за год испытаний.

## Модернизация стенда У-376

Стенд У-376 (рис. 1) представляет собой небольшую ТБК цилиндрической формы, диаметром 2 м и длиной 4 м, подключенную к воздушно-компрессорной станции (ВКС) ЦИАМ. Загрузка оборудования в ТБК осуществляется сверху через люк диаметром 1,3 м, вход в ТБК – сбоку через герметично закрывающуюся дверь. Для ввода/вывода измерительных трубок, сигнальных кабелей, кабелей питания и управления агрегатами и дополнительным оборудованием предусмотрены технологические лючки. Подача топлива и воды к объекту испытаний производится через специальные патрубки.

Воздух на вход в ТБК (рис. 2) поступает через внешний ресивер по линии нагнетания от воздушного компрессора ВЛ-1. Повышенные температуры воздуха на входе обеспечиваются подмешиванием горячего газа от камеры подогрева (КП) или подачей от установки 107Н. Отрицательные температуры воздуха на входе обеспечиваются по линии нагнетания от холодильной турбины ХТ-28. Дополнительно может осуществляться

вентиляция ТБК из атмосферы. Выхлоп газовой смеси из ТБК осуществляется в атмосферу через шахту шумоглушения при работе в наземных условиях или через эксгаустеры ВКС при работе в высотных условиях.

Стенды московской площадки ЦИАМ позволяют проводить испытания авиационной и иной техники и оборудования в широком диапазоне имитируемых условий: температура воздуха  $-80...+120^{\circ}\text{C}$ , высота полета  $0...10\ 000$  м, скорость  $0...1,3$  М. Это накладывает повышенные требования к узлам и агрегатам технологических систем по диапазону условий эксплуатации (прежде всего по температуре), быстродействию и продолжительности работы, электропитанию, ресурсу, ремонтпригодности, а также взрывозащищенности.

Традиционно на стендах ЦИАМ в качестве исполнительных запорно-регулирующих механизмов, электроприводных насосов и т.п. используется продукция авиационной промышленности, диапазон условий эксплуатации и характеристик которой в основном соответствует требованиям применения на испытательных стендах. Однако в современных условиях применение данной продукции на стендах затруднено, а продукция, предлагаемая общей промышленностью, не отвечает требованиям по условиям эксплуатации (чаще всего по температурным условиям) или рабочим характеристикам. В результате при восстановлении и модернизации стенда У-376 потребовалось применение ряда нестандартных решений.

При конструктивной доработке воздушного контура стенда У-376 по линии нагнетания (рис. 3) для подклю-

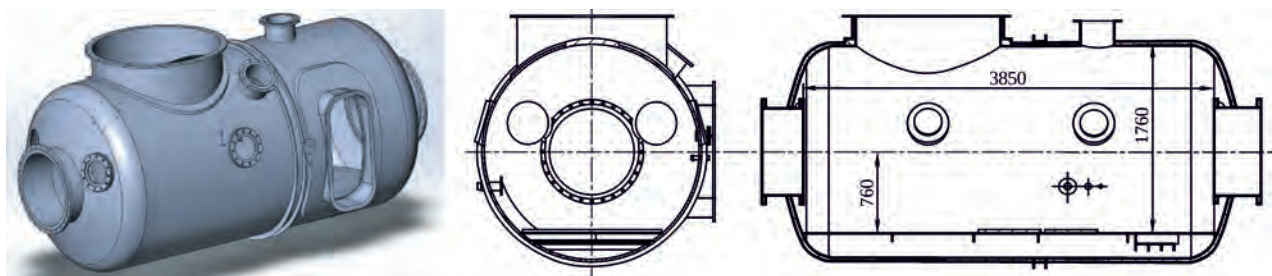


Рис. 1. Термобарокамера стенда У-376

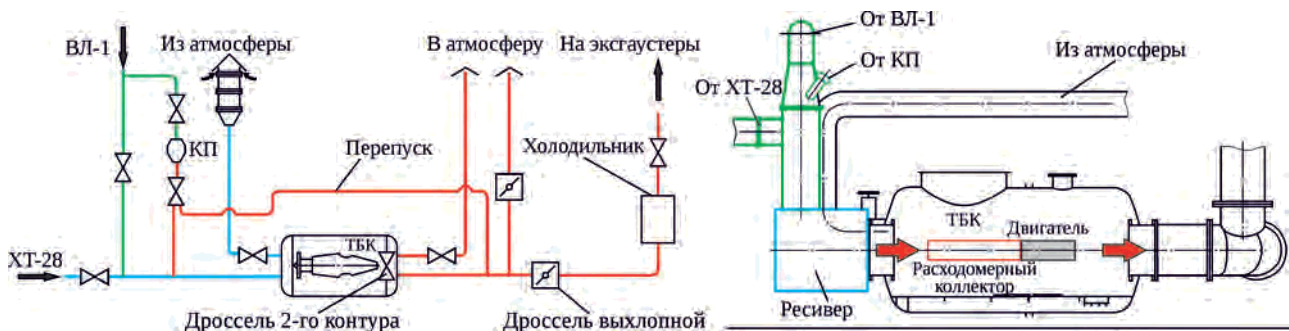


Рис. 2. ТБК У-376 в составе ВКС ЦИАМ после реконструкции

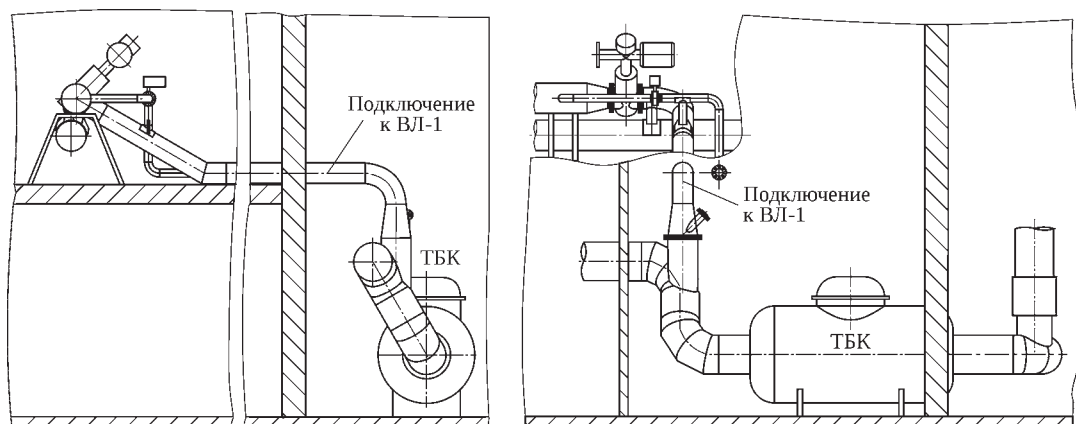


Рис. 3. Подключение ТБК У-376 к воздушному компрессору ВЛ-1 ВКС ЦИАМ

чения к магистрали воздушного компрессора ВЛ-1 от выведенной из эксплуатации компрессорной установки потребовалось уменьшить диаметр подводящих воздухопроводов с сохранением пропускной способности и уровня потерь давления воздуха. При исходном диаметре подводящих трубопроводов массогабаритные характеристики предлагаемой на рынке запорно-регулирующей арматуры не обеспечивали заданных требований по быстродействию.

При проработке стендовой системы топливопитания (рис. 4) впервые для стендов московской площадки ЦИАМ топливный насос, топливные фильтры и основные запорные клапана вынесены за пределы ТБК. Это позволило вместо дорогостоящих и узкоспециализированных авиационных агрегатов и сложной системы контура перепуска использовать химический насос общепромышленного исполнения с регулировкой давления топлива за насосом при помощи частотного преобразователя. Управление топливной системой внутри ТБК обеспечивается авиационными двух- и

трехпозиционными электромагнитными клапанами. Система топливопитания стенда У-376 выполнена автономной, независимой от централизованной топливной системы ЦИАМ. Заправка топливных баков осуществляется топливным насосом из перечня предлагаемых на рынке мобильных и стационарных автозаправочных станций. Пробные испытания насоса при технологических работах на других испытательных стендах показали его пригодность и эффективность.

При проектировании водяной системы охлаждения выхлопных газов (рис. 5) использовано аналогичное решение. Компоновка выполнена так, чтобы по возможности убрать агрегаты из зоны воздействия высоких температур. Это позволило использовать стандартные решения для системы водоснабжения – от водопроводных труб до электроприводных кранов. Из жаростойких и коррозионноустойчивых материалов были изготовлены только водяной распыливающий коллектор и подводящий участок водопровода, находящиеся в зоне повышенной (из-за выхлопных газов) температуры.

Проект системы электроснабжения стенда, предназначенный для электропитания потребителей переменного тока (~380 В) и постоянного тока (=27 В), выполнен с применением промежуточных понижающих реле. Отказ от высокоточных авиационных контакторов в пользу промежуточных реле привел к относительному усложнению электрической схемы и увеличению числа ее компонентов. Но при этом позволил разделить схему электропитания на высокоточную и слаботочную, снизить вероятность пожара в случае искрообразования на пульте управления, а также использовать широкую номенклатуру компактной слаботочной светосигнальной арматуры, кнопочных постов и тумблеров. Получившаяся централизованная система распределения энергии по стендовым потребителям стала более простой для эксплуатации и подключения дополнительных потребителей.

При выполнении проекта по системе воздуха высокого давления (рис. 6) рассматривались два варианта

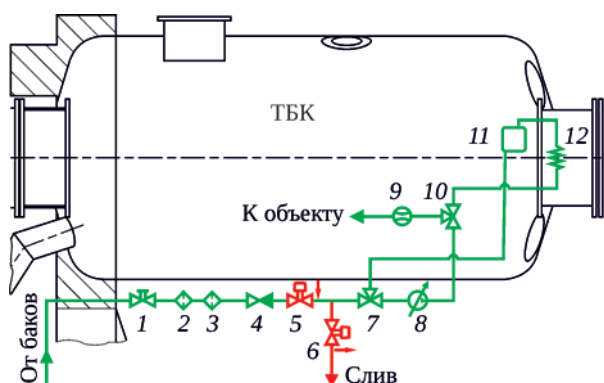
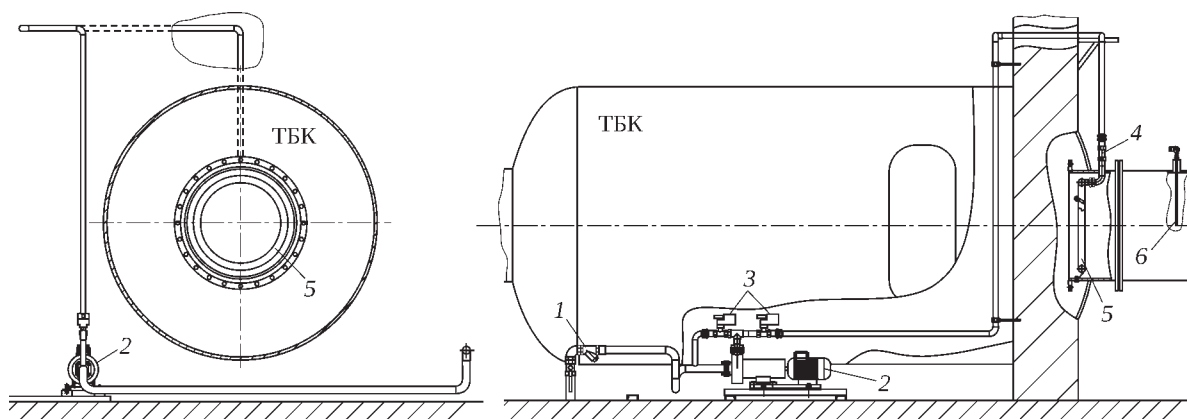


Рис. 4. Компоновка технологической топливной системы стенда У-376:

- 1 – кран запорный; 2 – фильтр грубой очистки;
- 3 – фильтр тонкой очистки; 4 – обратный клапан;
- 5 – клапан отсечной; 6 – клапан аварийного слива;
- 7, 10 – клапан трехпозиционный; 8 – регулируемый топливный насос; 9 – расходомер; 11 – климатический бак; 12 – теплообменник



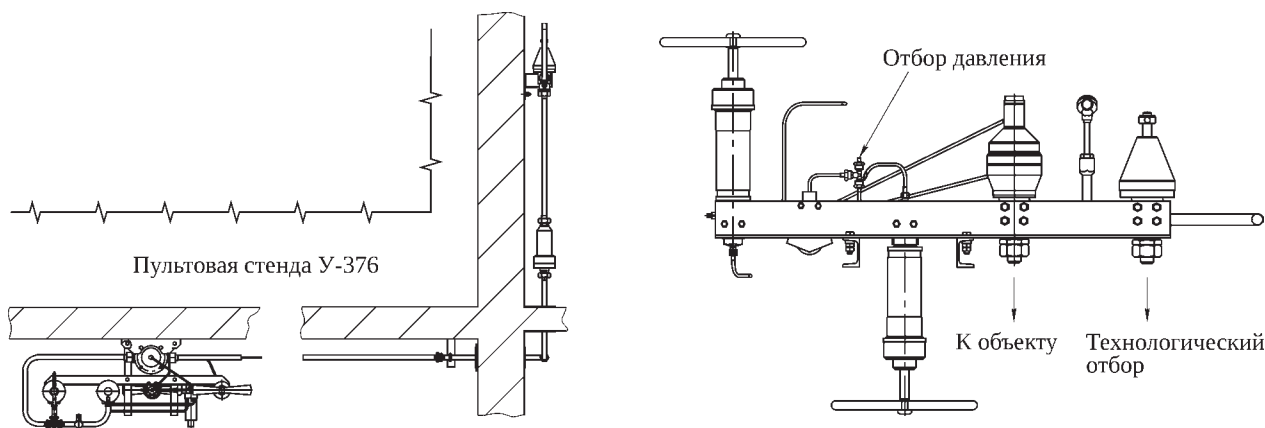
**Рис. 5.** Водяная система охлаждения выхлопных газов:

1 – фильтр тонкой очистки; 2 – промышленный водяной насос; 3 – дистанционные электроприводные краны;  
4 – обратный клапан; 5 – распыливающий коллектор; 6 – термометр сопротивления

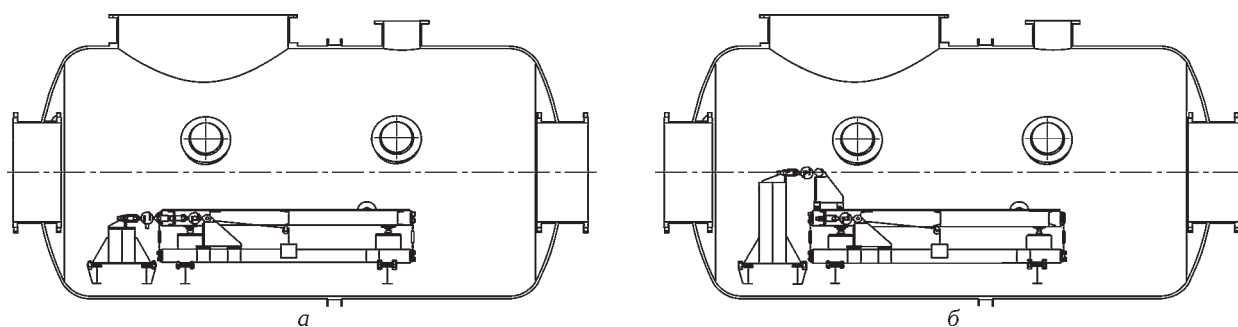
исполнения: ручной электромеханический и полуавтоматический электрический. Применение современных решений в области запорно-регулирующей арматуры высокого давления позволяет сократить количество элементов с семи до двух и реализовать полностью автоматический процесс регулирования системы с удаленной выдачей команд на изменение основных параметров. Такое исполнение является избыточным по своим возможностям для задач стенда У-376, но хорошо подходит для использования на испыта-

тельных стендах с большими рабочими мощностями. В итоге выбор был сделан в пользу уже отработанного решения с использованием командного и расходного редукторов и ручной преднастройки исполнительной арматуры, что полностью отвечает требованиям к системе воздуха высокого давления для стенда У-376.

Разработка силоизмерительной системы, нагрузочных и поверочных устройств (рис. 7) выполнена на основе уникального опыта проектирования и эксплуатации различных по размерности силоизмери-



**Рис. 6.** Система воздуха высокого давления



**Рис. 7.** Силовизмерительная платформа:

а – тарировка рабочего датчика с установленным двигателем и воздухозаборником;  
б – тарировка рабочего датчика с установленным эталонным на оси барокамеры

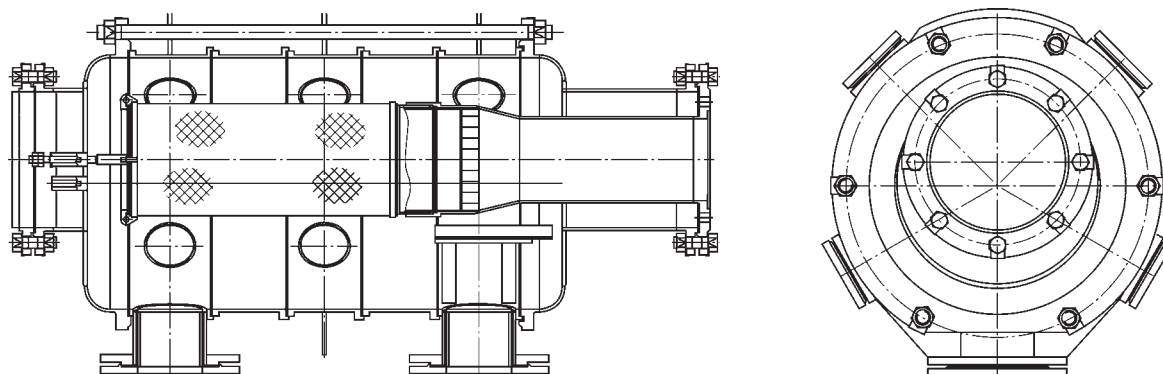


Рис. 8. Прототип воздушного ресивера для ТБК стенда У-376

тельных платформ на испытательных стендах ЦИАМ и не имеет аналогов в промышленности. В качестве первичного преобразователя используются тензодатчики, применяемые в промышленной весоизмерительной технике и обеспечивающие требуемый диапазон измерения усилия с высокой точностью, достаточной для проведения испытаний экспериментальных образцов авиационной техники. Для адаптации к условиям эксплуатации в ТБК в конструкции силоизмерительной системы для тензодатчиков предусмотрены защитные кожуха.

Для предварительного выравнивания воздушного потока перед входом в объект испытаний (см. рис. 2) применен внешний штатный воздушный ресивер (ВР) вместо обычно используемых на стендах мобильных ВР различной размерности. Габариты ТБК стенда У-376 не позволяют использовать существующие ВР или создать внутренний ВР путем отгораживания части ТБК, как это реализовано на одном из стендов ЦИАМ. В качестве прототипа ВР для ТБК стенда

У-376 использован модельный ВР (рис. 8), разработанный в ЦИАМ для стенда большой размерности и прошедший испытаний на филиале ЦИАМ в Тураево.

## Заключение

Испытательная база ЦИАМ является уникальной исследовательской площадкой для авиационной и иной техники. Это выражается в возможности создания широкого диапазона высотно-климатических и скоростных условий, высоких требованиях к надежности и работоспособности технологических систем, их узлов и агрегатов в предельных условиях эксплуатации.

Не всегда продукция, предлагаемая промышленностью, позволяет реализовать простое решение поставленных технических задач. На основании накопленного уникального опыта удалось найти и применить нестандартные решения, в том числе при модернизации существующих или создании новых стендовых систем.

## Литература

1. Павлов Ю.И., Шайн Ю.Я., Абрамов Б.И. Проектирование испытательных стендов для авиационных двигателей. М.: Машиностроение, 1979. 159 с.
2. Горбунов Г.М., Солохин Э.Л. Испытания авиационных воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1967. 255 с.
3. Шишков А.А., Силин Б.М. Высотные испытания реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1985. 208 с.
4. Леонтьев В.Н., Сиротин С.А., Тверский А.М. Испытания авиационных двигателей и их агрегатов. М.: Машиностроение, 1976. 216 с.
5. Солохин Э.Л. Испытания авиационных воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1975. 356 с.
6. ОСТ 1 01021-93. Стенды испытательные авиационных газотурбинных двигателей. 1994. 18 с.
7. ОСТ 1 02525-84. Испытания авиационных газотурбинных двигателей. 1983. 12 с.

## References

1. Pavlov Yu.I., Shain Yu.Ya., Abramov B.I. Proektirovanie ispytel'nykh stendov dlia aviatsionnykh dvigatelei [Design of Test Facilities for Aviation Engines]. Moscow: Mashinostroenie, 1979. 159 p.
2. Gorbunov G.M., Solokhin E.L. Ispytaniia aviatsionnykh vozdushno-reaktivnykh dvigatelei [Tests of Aviation Jet Engines]. Moscow: Mashinostroenie, 1967. 255 p.

- 
3. Shishkov A.A., Silin B.M. Vysotnye ispytaniia reaktivnykh dvigatelei [Altitude Tests of Aviation Jet Engines]. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 208 p.
  4. Leont'ev V.N., Sirotin S.A., Teverskii A.M. Ispytaniia aviatsionnykh dvigatelei i ikh agregatov [Tests of Aviation Engines and its Units]. Moscow: Mashinostroenie, 1976. 216 p.
  5. Solokhin E.L. Ispytaniia aviatsionnykh vozdushno-reaktivnykh dvigatelei [Tests of Aviation Jet Engines]. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 356 p.
  6. OST 1 01021-93. Stendy ispytatel'nye aviatsionnykh gazoturbinykh dvigatelei [Industry Standard 1 01021-93. Test Facilities for Aviation Gas-Turbine Engines]. 1994. 18 p.
  7. OST 1 02525-84. Ispytaniia aviatsionnykh gazoturbinykh dvigatelei [Industry Standard 1 02525-84. Test of Aviation Gas-Turbine Engines]. 1983. 12 p.

*Материалы получены редакцией 08.06.2018*