

АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА РЕКОНСТРУКЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ГТД И РАЗРАБОТКА НА ЕГО ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО АЛГОРИТМА МОДЕРНИЗАЦИИ СТЕНДА

© 2018 В.А. Зрелов, О.А. Комаров, С.Ю. Дмитриев, А.А. Бобрик

ПАО «Кузнецов», г. Самара

Статья поступила в редакцию 04.06.2018

Проведены и проанализированы работы по модернизации стенда для серийных и опытных испытательных турбореактивных двухконтурных форсированных двигателей большой мощности с форсажной камерой. Описан исследуемый двигатель для стенда, его особенности, параметры и требования к проводимым испытаниям. Приведены сформированные данные о конструкции стенда, требования к модернизации. Описаны элементы стенда: технологические системы, инженерные сети, электрические сети, система автоматизированного испытания двигателя, строительные работы, а также проблемы, возникшие во время проводимой модернизации, приведены примеры решения этих проблем. На основе полученной информации составлен план и алгоритм работ по модернизации авиационных стендов: от составления технического задания до аттестации стенда. В соответствии с планом и алгоритмом, методика опробована для модернизации стендов других типов двигателей: турбовинтового и малоразмерного газотурбинного двигателя. Проведены работы по реконструкции стенда турбовинтового двигателя НК-12. Методика опробована для проектирования стенда МГТД. Статья адресована инженерно-техническим работникам авиадвигателестроительных ОКБ, научным работникам и управленческим кадрам, приступающим к работе над модернизацией или проектированием стенда для испытаний изделий предприятий.

Ключевые слова: ТРДДФ, ТВД, алгоритм, реконструкция, проектирование, модернизация, испытательный стенд.

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Предприятие ПАО «Кузнецов» является ведущим в России по производству и ремонту двигателей для дальней авиации ВКС РФ и ракетно-космической техники. В связи с необходимостью модернизации и обновления парка самолётов, оснащённых двигателями предприятия, а также работами, направленными на создание перспективных двигателей большей тяги и повышенной эффективности, особую актуальность для предприятия приобретают работы в области проведения модернизации стендов для испытаний и доводки серийных и опытных двигателей.

Главные задачи данной работы:

1. Проведение модернизации испытательного стенда для ТРДДФ.
2. Формирование на основе полученной информации универсального алгоритма модернизации стенда.

3. Применение на практике алгоритма модернизации стенда испытаний и доводки ТВД НК-12 и проектирование аналогичного стенда для отработки микро-ГТД.

Требования к современному испытательному оборудованию меняются, возникает необходимость модернизации и автоматизации существующих стендов. Поэтому весьма актуальной следует признать разработку и применение на практике универсального алгоритма модернизации стендов для испытаний и доводки ГТД различной тяги и конструкции.

Цель данной работы – создание универсального алгоритма для модернизации испытательного стенда ГТД на основе обобщения опыта предприятия в области реконструкции стендовых систем.

АНАЛИЗ СИСТЕМ СТЕНДА

Испытательный корпус (рис. 1) имеет 2 бокса и предназначен для испытания 2 типов двигателей: мощных ТВД и ТРДДФ.

Для испытания новых и отремонтированных двигателей предприятием была поставлена задача реконструкции и технического перевооружения соответственно испытательных стендов № 1 и 2. В требуемый перечень испытаний входит весь спектр испытаний серийных и опытных двигателей.

Для ТРДДФ проводятся испытания с подогревом воздуха на входе в двигатель (имитация сверхзвукового полёта).

Зрелов Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского университета. E-mail: zrelov07@mail.ru

Комаров Олег Александрович, аспирант, ведущий инженер по наладке и испытаниям двигателей.

E-mail: o.komarov@mail.ru

Дмитриев Семён Юрьевич, аспирант, инженер-конструктор. E-mail: d.s.93@mail.ru

Бобрик Алексей Александрович, аспирант, инженер-конструктор. E-mail: bobrik000al@mail.ru

В стенде присутствуют следующие системы:

1. Строительные конструкции.
2. Электрические сети.
3. Технологические системы.
4. Автоматизированная система испытания двигателей.
5. Внешние и внутренние инженерные сети.



Рис. 1. Реконструированный испытательный корпус ПАО «Кузнецов» [2]

Строительные конструкции. Первыми были выполнены работы по модернизации испытательного бокса: ремонт стен, потолков, восстановление технологических площадок. Особое внимание было уделено модернизации прямого входного устройства и трёхступенчатого эжекторного выхлопа, а также мероприятиям по шумоглушению во время испытания (входное защитное устройство, щит шумоглушения, башня шумоглушения выходного устройства, установка панелей шумоглушения бокса).

Боксы стенда – прямоточной конструкции (рис. 2) без шахты всасывания, что отличает их от остальных серийных стендов предприятия большими габаритами и шумностью, но при этом имитацией условий функционирования, более близким к полётным. В результате работ по модернизации было принято решение об

установке больших щитов шумоглушения напротив входного устройства и модернизации входного защитного устройства (ВЗУ), что привело к снижению шума в прилегающих зонах до уровней, не превышающих допустимых СанПиН значений. Совместно с этим модернизация ВЗУ обеспечила защиту двигателя от попадания посторонних частиц и выравнивание поля скоростей давлений температуры на входе в бокс.

Была проведена модернизация трёхступенчатого эжекторного выхлопного устройства (ЭВУ) для улучшения шумоглушения и рассеивания вредных выбросов до норм СанПиН. ЭВУ было оснащено механизмом автоматического закрытия при возникновении пожара и системой блокировки-остановки запуска при нераскрытии-закрытии защитной шторки ВЗУ. ВЗУ и ЭВУ выдерживают все температурные, аэродинамические вибрационные и акустические нагрузки, возникающие во время испытания двигателя, в том числе и на нерасчётных аварийных и помпажных режимах.

Электрические сети. Во взрыво- и пожароопасных помещениях всё оборудование и электросистемы выполнены во взрывобезопасном исполнении, все электроприборы стенда с заземлением. Электросистемы спроектированы с запасом по мощности для предотвращения аварийных ситуаций, чтобы все потребители энергии были обеспечены электропитанием.

Стендовые электросистемы делятся на 4 типа потребителей: 27 В, 220 В, 380 В - 50 Гц и 115 В - 400 Гц. Организация электропитания происходит от 2 электрических линий, питание сетей 220В и 380В, а также 27В и 115В было организовано от двух источников электроэнергии через трансформатор. Высокочастотная сеть 115В требуется для питания ЭСУД. Питание происходит

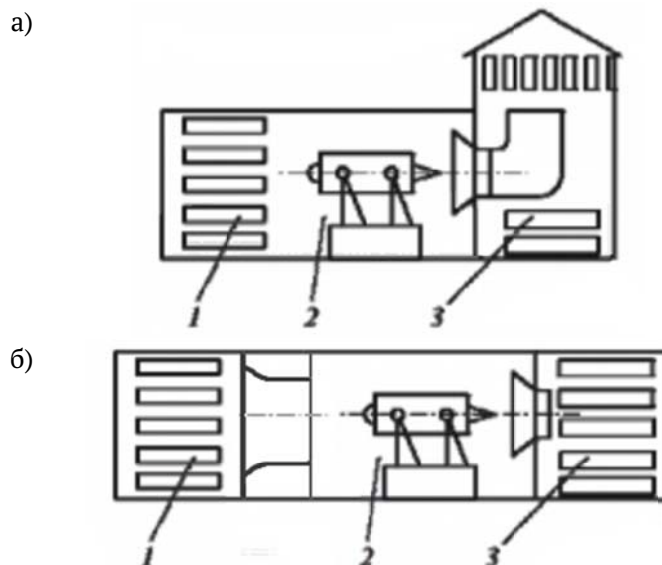


Рис. 2. Схемы оформления проточных частей боксов [1]:
 а – бокс стенда № 1 для ТРДДФ; б – бокс стенда № 2 для ТВД;
 1 – ВЗУ; 2 – испытываемый двигатель; 3 – ЭВУ

от источника переменного тока, преобразуется через выпрямитель в 27В. Модернизацией также предусмотрен источник бесперебойного питания, работающий при отключении электроэнергии. Время работы этой системы рассчитывалось для проведения требуемых технологических операций по остановке двигателя в случае аварийного отключения электроэнергии.

В целях проверки генераторов основного изделия предусмотрена система их загрузки, предназначенная для имитации работы самолётных агрегатов в время полёта в соответствии с циклограммой испытания.

Технологические системы. Цель систем состоит в том, чтобы обеспечивать непрерывное питание всех потребителей горюче-смазочными материалами и воздухом, с заданными массовыми расходами и классом чистоты во всём рабочем диапазоне давлений, в том числе и на переходных режимах. До модернизации стенда питание осуществлялось централизованно со станции горюче-смазочных материалов (ГСМ), система была ненадёжна из-за низкой ремонтнопригодности и сложностей при взаимодействии между подразделениями завода. В связи с этим возникали проблемы фильтрации рабочих тел и слива системы для проведения регламентных работ и ремонта.

В результате модернизации были реализованы:

1. Дистанционное управление и анализ состояния стенда;
2. Подготовка и заправка систем из масляных ёмкостей;
3. Система фильтрации и поддержания масел в заданном состоянии;
4. Аварийный и технологический слив системы в бак отходов и топливохранилище.

Во время модернизации стенда, в соответствии с принципами «бережливого производства», были решены вопросы универсализации и снижения типовой номенклатуры узлов. Системы стали отличаться простотой эксплуатации и технического обслуживания, улучшенной ремонтнопригодностью и герметичностью, маркированием всех трубопроводов и отсутствием взаимного касания. При модернизации системы стенда были заменены на аналогичные существовавшим, с полной заменой оборудования.

Воздушная система стенда включает в себя компрессорную станцию, предназначенную для обдува генератора постоянного тока, обдува блоков ЭСУД, систему забора проб воздуха на проверку и анализы воздуха, отбираемого для самолётных нужд, а также воздушную систему запуска ГТД.

При проведении квалификационных и комиссионных (периодических) испытаний изделий, работающих с подогревом рабочего тела

на входе (для имитации сверхзвукового полёта) используется двигатель НК-8. Конструкцией ТРДДФ предусмотрен запуск от вспомогательного ГТД (ВГТД) ТА-6, для испытаний решено использовать аналогичный по параметрам ТА-18. В случае выхода из строя ВГТД, для гарантированного запуска испытываемого изделия и НК-8 воздушной системой предусмотрено двукратное резервирование двигателей ТА-18. Запуск ТА-18 осуществляется с помощью собственного стартера-генератора ТС-12ТО. В качестве второй дублирующей системы реализован запуск испытываемых изделий от расположенного в соседнем корпусе переоборудованного ТВД НК-12, по надземной воздушной магистрали. В целях предотвращения помпажа при совместном включении\отключении ТА-18, а также защиты воздушно-пусковых турбин изделия при возникновении аварийных ситуаций (разрушение или отрыв лопаток ВГТД) в воздушную систему запуска введён фильтр-ресивер.

Топливная система стенда предназначена для питания испытываемого изделия, НК-8 и двух ВГТД. С помощью топливной системы проводятся технологические операции по проверке агрегатов, приводимых керосином. Используемый изделиями керосин марки РТ или Т8В подаётся централизованно из топливохранилища.

Система консервации используется для консервации основного изделия, ВГТД и двигателя подогревателя, а также внутренней консервации полостей, сборочных единиц двигателя и его агрегатов после окончания испытаний маслом ИПМ-10. Система консервации испытываемого двигателя обеспечивает промывку масло-системы испытываемого изделия.

Масляная система стенда предназначена для питания маслом и заправки с заданным давлением основного изделия и НК-8, исследования работоспособности автономной двигательной системы смазки, моделирования эксплуатационных условий работы двигателя, заправки масло-системы генератора-привода и проведения специальных испытаний. Во время испытаний используются синтетические углеводородные масла АМГ-10 и ИПМ-10, охлаждаемые противоточными водяными стендовыми радиаторами и радиаторами изделия.

Гидросистема обеспечивает загрузку и прокачку гидронасосов двигателя гидрожидкостью АМГ-10, которая необходима для работы систем самолёта, с целью проверки и имитации работы гидравлики самолёта по полётному циклу.

Разработка систем велась на основе CFD расчётов с учётом потерь напора на участках от насосов, клапанов, и фильтров ГСМ до двигателя. Трубопроводы приобрели достаточное количество технологических разъёмов, обеспечивающих в процессе эксплуатации удобство мон-

тажа-демонтажа элементов системы, а также проведение регламентных работ.

Внешние и внутренние инженерные сети. Во время работ по модернизации стенда на основе современных требований созданы все сооружения и коммуникации, непосредственно используемые в процессе тепло-, газо-, водоснабжения и водоотведения.

На стенде была реализована видеосистема кругового обзора за изделием, НК-8 и ТА-18, состоящая из 8 промышленных видеокамер, установленных по периметру бокса с выводом изображения в пультовую.

Установлены связанные: радио-шлемофонная система, система громкоговорителей и аварийная сигнализация. Модернизована инфраструктура здания для проведения локальной вычислительной сети предприятия. Введены пожарная сигнализация с автоматической углекислотной системой пожаротушения и система безопасности с «тревожной кнопкой».

Автоматизированная система испытания двигателя. АСИД является одной из самых технически сложных систем стенда. Измерительные системы стенда физически и морально устарели, многие комплектующие не выпускаются, невозможна реализация автоматизированной системы обработки и записи данных из-за наличия большого числа косвенных измерений. В модернизированной системе предусмотрены:

- автоматизированная программа испытания двигателя в соответствии с технологическим процессом;
- снятие параметров двигателя и стендовых систем в реальном времени и максимально близко к месту замера;
- автоматизация регистрации, обработки, сбора, ведение протокола испытания, отображение графиков параметров;
- дистанционное управление и контроль работы стендовых систем (задвиги, насосы, проточные подогреватели, радиаторы).
- комплексная система контроля, охватывающая все этапы технологического процесса испытания и отработки систем изделия, запись действий операторов АРМ;
- включение систем пожаротушения и безопасности, отображение аварий и предупреждений об отклонении параметров от нормы;
- доступная и быстрая градуировка измерительных систем.

В состав системы входят:

- система сбора данных (датчики температуры, давления, частот вращения валов, вибраций, тяги, расходов прокачки ГСМ, параметров агрегатов);
- механическая рычажная система управления РУД;

- сервер синхронизации команд ЭСУД-АСИД.
- пульт управления и табло самолётных агрегатов.

АЛГОРИТМ МОДЕРНИЗАЦИИ СТЕНДА

Перед работами по модернизации необходимо составить ТЗ. В случае военного предприятия согласование ТЗ на модернизацию в соответствии с ГОСТ 1 01021-93 должно проводиться при участии заказчика, в случае реализации государственного оборонного заказа – с военным представителем ВКС РФ. В ТЗ необходимо указать: заказчика, обоснование работ, сроки проведения работ, особые требования к подрядчикам, все системы и работы, которые должны быть проведены и прочее. Учитывая комплексность многих систем, требования к ним могут присутствовать в нескольких группах работ, что ведёт к необходимости параллельной итеративной работе над ними. Классификацию систем предложено выполнять по примеру из предыдущего раздела. После полного согласования ТЗ, модернизацию предложено разбить на 2 этапа:

1. Разработка проектной документации в объёме, необходимом и достаточном для прохождения экспертизы и проверки сметы комиссией заказчика.
 2. Разработка всей необходимой рабочей и конструкторской документации.
- Сквозную проектную работу над модернизацией предлагается выполнять по алгоритму (рис. 3):

1. Принципиальная схема;
2. Планировочное решение.
3. Расчёт системы.
4. Подбор комплектующих.
5. Формирование окончательной модели.

Модернизацию предлагается выполнять в следующем порядке:

1. Строительные работы, модернизация здания, инженерных сетей и систем, вспомогательного оборудования.
2. Модернизация бокса стенда, вспомогательных помещений, инженерно-технологических систем, монтаж вспомогательного оборудования.
3. Монтаж АСИД, пусконаладочные работы, аттестация стенда.

На основе полученного алгоритма была проведена работа по модернизации стенда №2 для ТВД. Несмотря на то, что испытываемые ТВД и ТРДДФ различны по типу и конструкции и имеют различия в системе управления, алгоритм модернизации стендов был подобен. Отличия заключались в следующем.

1. Наличие специального аэродинамического кольца для испытания НК-12.

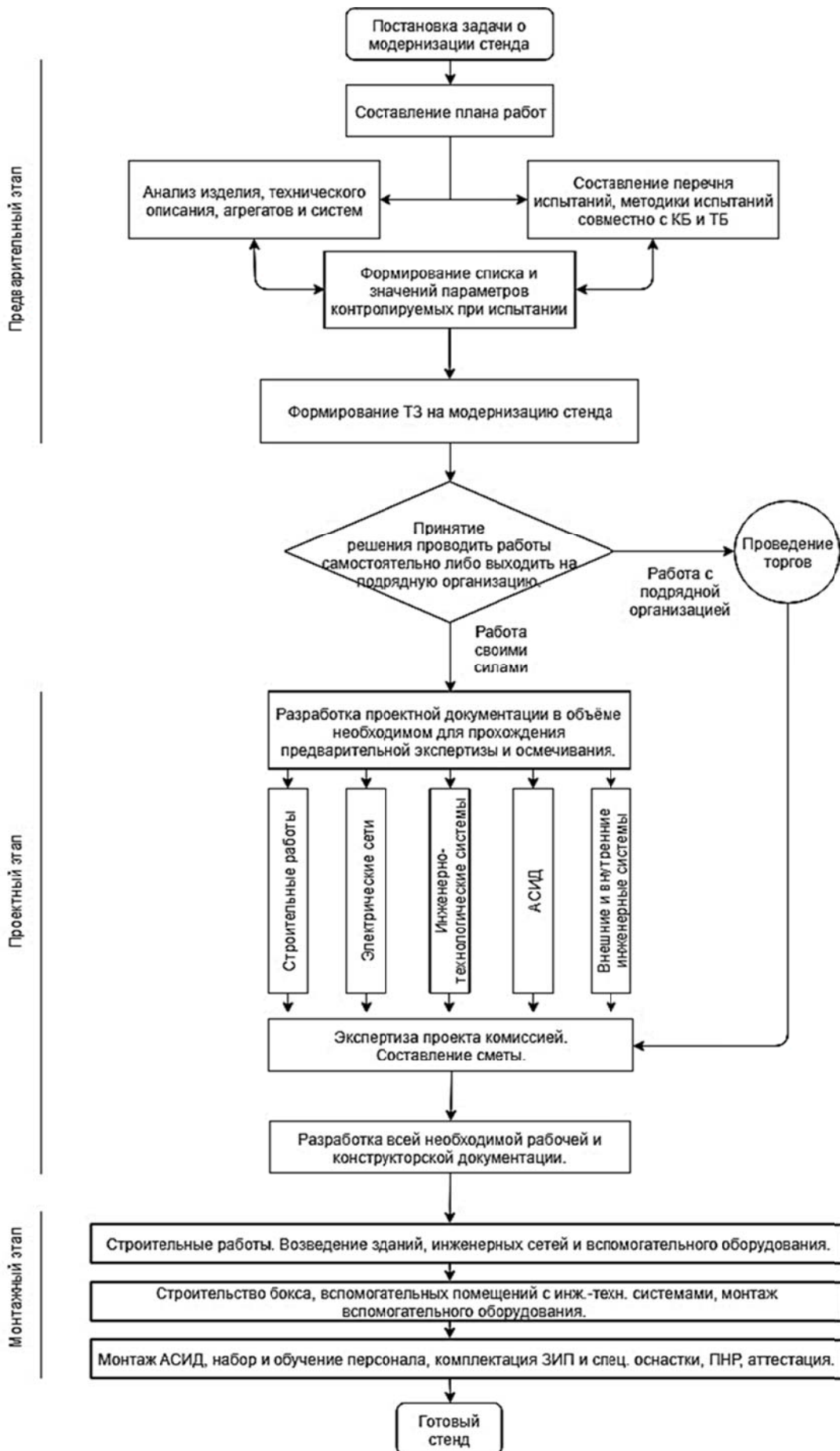


Рис. 3. Алгоритм модернизации авиационного испытательного стенда

