

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА СТОЛКНОВЕНИЕ С ПОСТОРОННИМИ ПРЕДМЕТАМИ (ПТИЦЕСТОЙКОСТЬ)

К.В. Моргачев (ЦИАМ им. П.И. Баранова)

Показана актуальность проведения испытаний элементов корпуса самолета или газотурбинного двигателя (ГТД) на птицестойкость. Описан состав полноценного стенда для проведения специальных видов испытаний Т-15П, реализованного на программно-аппартной базе компании National Instruments. Рассмотрены особенности проведения испытаний на птицестойкость. Приведены примеры практического использования разработанного стенда и перспективы развития этого проекта.

Ключевые слова: стендовые испытания, авиационная техника, газотурбинный двигатель, автоматизированная информационно-измерительная система, птицестойкость.

Такие факторы риска, как столкновения элементов корпуса самолета или газотурбинного двигателя (ГТД) с посторонними предметами (птицы, фрагменты льда, град, фрагменты двигателя самолета или шасси и др.) существенно влияют на безопасность полетов. А попадание на вход ГТД града, кусков льда, дождя представляют собой негативные атмосферные явления, влияющие на работу двигателя [1,2]. При этом могут возникать такие явления, как срыв пламени в камере сгорания, останов двигателя, потеря возможности управления двигателем. В силу чего возникает необходимость стендовых экспериментальных исследований данных явлений в условиях, приближенных к реальным.

В Центральном институте авиационного моторостроения им. П.И. Баранова (ЦИАМ) в 2009 г. для проведения испытаний элементов планера на птицестойкость на территории стенда Ц-1 М был создан опытный образец установки SO117/118, на которой были проведены испытания кабины, элементов крыла и хвостового оперения самолета «Суперджет — 100» на удар с птицей. На основе полученного опыта было принято решение о создании полноценного стенда для проведения специальных видов испытаний на базе стенда Т-15/10, названного Т-15 П (рис. 1). Для реализации автоматизированной информационно-измерительной системы (АИИС) стенда были выбраны унифицированные программно-аппартные решения компании National Instruments. Они отвечали современным требованиям и предоставляли инту-

итивно понятный интерфейс как конечному пользователю, так и разработчику ПО.

Архитектура и состав испытательного стенда

На рис. 2 представлена функциональная схема информационной системы стенда, где управление процессом испытаний осуществляет пульт ручного управления (ПУ), расположенный в пультовой стенда (рис. 1). Скоростную видеосъемку объекта испытаний выполняют камеры СК1-СК3, полученные изображения в реальном времени передаются на АРМ СК1 — АРМ СК3, с которых возможно наблюдать за испытаниями. Камера общего вида (КОВ) демонстрирует общее состояние бокса с целью обеспечения безопасности в процессе испытаний. Сигналы с термодпар, которыми препарирован объект испытаний, поступают на плату NI PXIe-4353, на которой осуществляется компенсация холодного спаива и оцифровка, токовые сигналы с датчиков давления и влажности передаются на платы NI PXI-6238, осуществляющие оцифровку сигналов. Барометрическое давление измеряется цифровым прецизионным манометром (МЦП-2 М) и по цифровому интерфейсу RS-232 передается на преобразователь Moxa Uport 2410 и далее — на промышленный компьютер. Аналогичным образом сигналы с измерителей скорости (СИС1-СИС2) передаются на промышленный компьютер, с которым связаны АРМ1-АРМ3. В настоящий момент эти АРМ позволяют только наблюдать за испытаниями, но в дальнейшем планируется расширить их функциональные возможности.

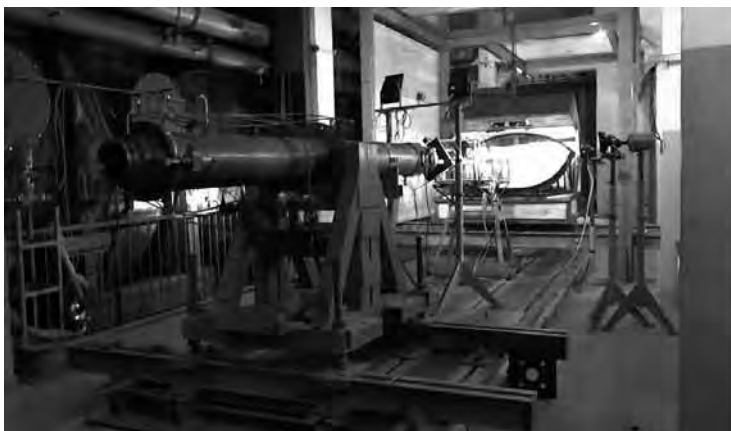


Рис. 1. Зона стрельб (слева) и пультовая стенда Т-15П (справа)

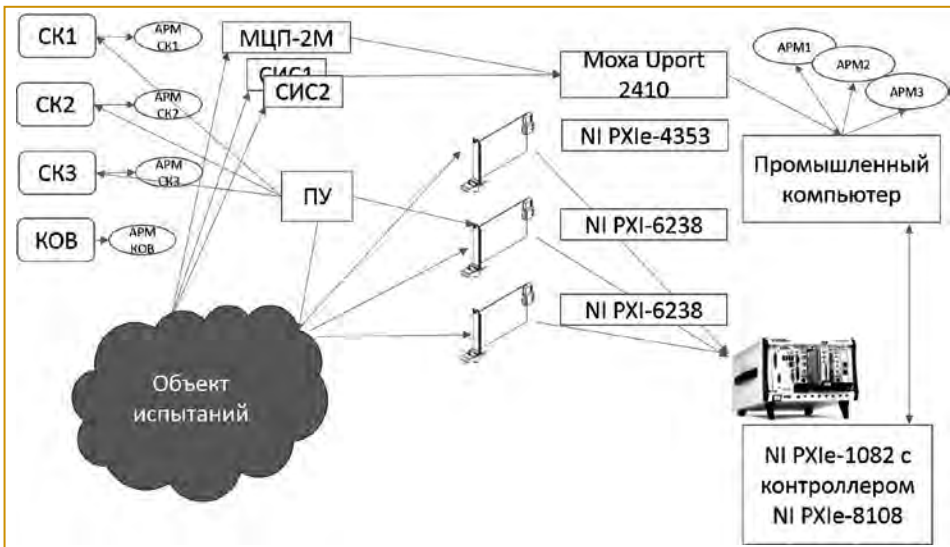


Рис. 2. Функциональная схема информационной системы стенда

Для реализации АИИС стенда Т-15 П были использованы (рис. 2):

- шасси NI PXIe-1082 и контроллер NI PXIe-8108;
- плата для регистрации параметров по каналам температуры NI PXIe-4353 с клеммником NI ТВ-4353 (32 канала регистрации (до 90 Гц) с восемью каналами компенсации холодного спая);
- две универсальные токовые платы NI PXIe-6238 с клеммниками (по восемь каналов регистрации аналоговых токовых сигналов (до 250 кГц), по два выходных аналоговых канала, по четыре выходных и шесть входных цифровых каналов (до 80 МГц));
- преобразователь COM->USB Moха UPort 2410;
- манометр цифровой прецизионный МЦП-2 М;
- системы (основная и ее дублиры) измерений скорости полета постороннего предмета;
- компьютер-сервер в промышленном исполнении;
- 32 термопары хромель-капель ($\pm 2,5$ °С);
- восемь датчиков давления типа «Сапфир-22 ДИ»

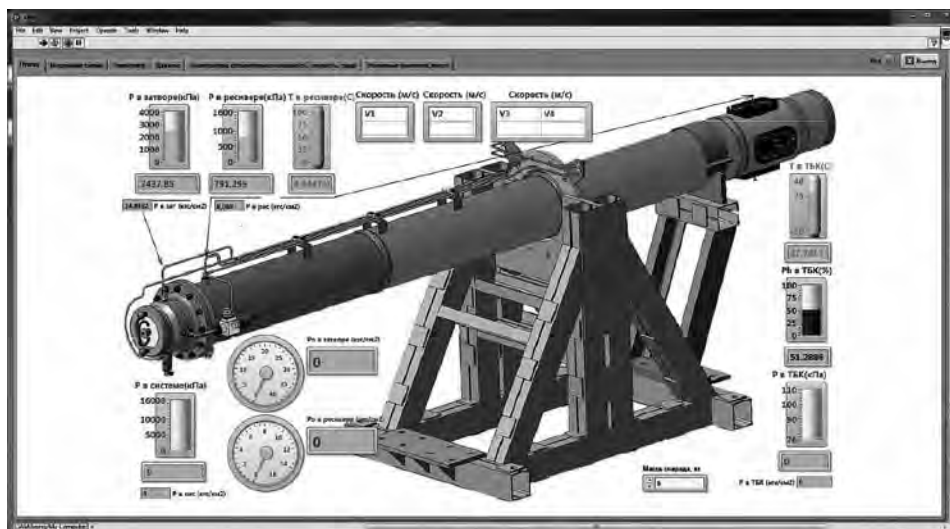


Рис. 3. Основной экран системы, на котором отображаются ключевые технологические параметры

($\pm 0,5\%$ ВП) и «Метран-100 ДД» ($\pm 0,15\%$ ВП);

- два измерительных преобразователя температуры и влажности ИПТВ-206/М1-01 фирмы Элемер ($\pm 0,4$ °С, $\pm 3\%$);
- три системы скоростной видеорегистрации;
- система обзорного видеонаблюдения.

Контроллер системы работает под управлением NI Real-Time System, что обеспечивает высокий уровень детерминизма, а компьютер-сервер — под управлением ОС MS Windows 7 Professional x64, что обеспечивает простоту

управления для оператора стенда.

В качестве прикладного ПО было принято решение использовать специализированные разработки сотрудников ЦИАМ. Для реализации этой задачи использовалась среда проектирования NI LabView, входящая в пакет NI Developer Suite.

На рис. 3 представлена мнемосхема главного экрана АИИС стенда, на которой отображаются основные технологические параметры испытаний (давление, температура, влажность и скорость). Рис. 4 демонстрирует пневматическую систему стенда, основные параметры в реальном времени и позволяет осуществить управление электромагнитными клапанами.

В номенклатуре решений компании National Instruments насчитывается более 100 различных измерительных модулей, включая платы стандарта PXI для производственных стационарных решений и модули формата CompactRIO/CompactDAQ для встраиваемых решений. Это позволяет собирать распределенные системы сбора данных по параметрам различного типа. В единую систему их связывает среда разработки NI LabView, в которой реализуется графическое проектирование системы, существенно упрощающее и ускоряющее разработку системы. Однако применяемый в NI LabView необычный подход к графической разработке ПО является непривычным, и к нему необходимо адаптироваться. Многие простые вещи при таком подходе делаются сложно, а сложные за счет большого числа встроенных библиотек, напротив, про-

сис. сборки данных по параметрам различного типа. В единую систему их связывает среда разработки NI LabView, в которой реализуется графическое проектирование системы, существенно упрощающее и ускоряющее разработку системы. Однако применяемый в NI LabView необычный подход к графической разработке ПО является непривычным, и к нему необходимо адаптироваться. Многие простые вещи при таком подходе делаются сложно, а сложные за счет большого числа встроенных библиотек, напротив, про-

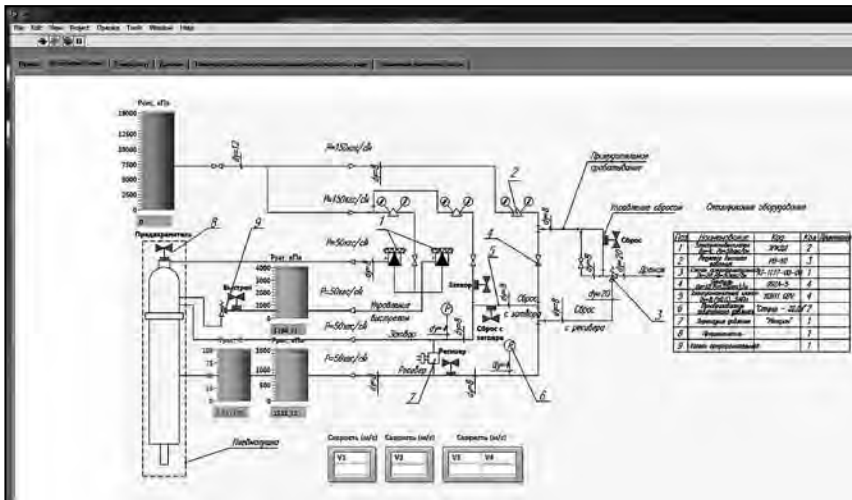


Рис. 4. Экран управления системами стенда с отображением ключевых параметров

сто. Из преимуществ можно отметить, что программы, написанные в этой среде, могут быть откомпилированы практически под любое целевое устройство. При этом поддерживается как работа с универсальными ОС, так и ОС реального времени, а также работа с программируемыми логическими интегральными схемами. Кроме того, пакет NI Developer Suite включает интегрированную среду разработки на C – NI CVI и библиотеку для среды Visual Studio - NI Measurement Studio. В LabView можно использовать код, написанный на C, помещенный в компонент Formula Node, кроме того, поддерживается импорт и экспорт DLL библиотек.

Описание процесса испытаний

Процесс испытаний представляет собой заброс в заданную точку изделия с заданной скоростью постороннего предмета (птицы) за счет использования пневматической пушки. На испытуемом изделии осуществляется термостатирование для имитации условий высотного полета. При этом осуществляется сбор регламентированных параметров объекта.

Одним из ключевых параметров в данном виде испытаний является измерение скорости полета постороннего предмета (птицы). Для решения этой задачи в опытной установке SO117/118, развернутой на стенде Ц-1 М, был применен измеритель скорости, разработанный в ЦИАМ им. П. И. Баранова, основанный на гибридном оптико-механическом принципе действия. В нем для определения скорости выполняются измерения промежутков времени между разрывами двух проволок и между затемнением фотодатчиков, засветку на которые осуществляют лазерные излучатели. Указанные механизмы взаимодействуют между собой, срабатывание оптических пар осуществляется только после срабатывания механических. Это связано с тем, что в условиях повышенной влажности в месте выхода из ствола пушки сжатого воздуха (газа) происходит конденсация водяных паров, что может приводить к преждевременному срабатыванию оптической пары.

Позже выяснилось, что применение данного измерителя становится невозможным, если посторонними предметами являются град или лед, так как они разрушаются уже при столкновении с проволоками, не достигая объекта испытания. Поэтому в ЦИАМ им. П. И. Баранова был создан новый измеритель скорости, основанный только на оптическом принципе действия. Стало ясно, что для искомой точности измерения скорости необходимо осуществлять прицеливания с большей точностью, чем было изначально регламентировано. Поэтому был создан измеритель скорости, основанный на инфракрасных излучателях. В конкретном решении уже была не важна траектория движе-

ния постороннего предмета (птицы) и диаметр излучателя, так как срабатывания осуществлялось за счет малейшего падения освещенности фотоприемника. Кроме того, предмет пересекал не линию, как в случае использования проволок или лазерных излучателей, а плоскость, так как в данном решении используется две группы по три источника инфракрасного излучения и фотоприемника. Регистрация сигналов и вычисление регламентируемых параметров осуществляется за счет использования разработанных сотрудниками ЦИАМ контроллеров. Прошивка для контроллеров была написана на ассемблере специально для решения данной задачи. Вычисленное значение скорости (промежутка времени) по цифровому интерфейсу RS-232 передается в АИИС стенда Т-15 П.

Другой проблемой организации испытаний является избавление от фрагментов пыжа, в который упаковывается птица, при столкновении с объектом испытаний. Пыж необходим для защиты птицы от ударов о ствол пушки в разгонном участке траектории. При его отсутствии возможно ее повреждение еще до выхода из дула пушки. Но после этого от пыжа необходимо избавиться, так как к исследуемому объекту должна лететь только птица. Поэтому после выхода из дула пыж ударяется об отбойник, который его тормозит, а птица продолжает свой полет уже самостоятельно. Но в этом случае происходит разрушение пыжа, что приводит к тому, что вместе с птицей к цели летят еще и его фрагменты. Для устранения этого до встречи с отбойником пыж сталкивается с системой ножей, призванной расколоть пыж и придать его фрагментам траектории, расходящиеся от траектории полета птицы. Эта задача была решена разработкой специализированной системы ножей и ее последующих испытаний, подтвердивших высокую эффективность данного подхода.

Еще одним вопросом при подобных испытаниях является время срабатывания пневматического клапана, осуществляющего подачу сжатого воздуха

(газа) на пыж (посторонний предмет). Для реализации данной задачи используется схема, при которой электромагнитный клапан открывает подачу сжатого воздуха на пневматический клапан, непосредственно подающий сжатый воздух (газ) на пыж (посторонний предмет) для достижения практически мгновенной выдачи всего объема воздуха (газа) в ствол пушки.

Практическое использование стенда

Программно-аппаратные решения, реализованные на стенде Т-15 П, были успешно апробированы, после чего стенд Т-15 П был введен в эксплуатацию и успешно аттестован. На новом стенде были проведены испытания защитной решетки вертолетного двигателя в интересах компании “Мотор Сич”, лобового стекла поезда “Сапсан”, лопаток двигателя ПД-14 для компании “Авиадвигатель” и элементов корпуса и лопастей вертолета “Ми-38” в интересах компании “Вертолеты России”, а также проведен ряд испытаний элементов корпуса “МС-21” для компании “Иркут”.

Практические примеры использования стенда Т-15 П подтвердили его способность осуществлять полный комплекс испытаний на столкновение элементов авиационной и др. техники с посторонними предметами, такими как град, лед, элементы шасси, элементы двигателя, птица, алюминиевые болванки и стеклянные бутылки на различных скоростях 20...270 м/с с возможностью увеличения диапазона в большую сторону по желанию заказчика. При этом стало возможным осуществлять скоростную видеозапись, регистрацию статических и динамических параметров систем, используя возможность термостабилизации объектов испытания.

Развитие проекта

На современном этапе зафиксирован неудовлетворенный спрос на климатические испытания и испытания на птицестойкость ГТД. Для реализации этой задачи предлагается использовать стенд № 22 НИЦ ЦИАМ, который нуждается в глубокой и комплексной модернизации. Для расширения функционала стенда на проведение испытаний на попадание на вход ГТД птицы, града, кусков льда, дождя предлагается дополнить АИИС стенда Т-15 П:

- платой для регистрации параметров по каналам виброускорения NI PXIe-4498 с клеммником (16 каналов виброускорения с частотой оцифровки 204,8 кГц);
- шестью платами NI PXIe-4331 с клеммниками (по 8 каналов регистрации тензодеформации с частотой оцифровки 102,4 кГц);
- платой PXIe-6375 с клеммниками и кабелями для регистрации сигналов с датчиков давления (208 каналов);

- четырьмя платами для регистрации параметров по каналам температуры NI PXIe-4353 с клеммниками и кабелями (32 канала);
- двумя универсальными токовых платами NI PXIe-6238 с клеммниками (8 каналов);
- платой ARINC429 PXI Interface Module from AIT (8 каналов) для реализации приема сигналов по протоколу ARINC 429 с клеммниками и кабелями;
- термокомпенсационным кабелем;
- датчиками давления, температуры, влажности, тензодеформации и виброускорения;
- шасси NI PXIe-1065;
- контроллером NI PXIe-8135.

Доработка АИИС стенда Т-15 П позволит осуществлять: управления ГТД по интерфейсу ARINC 429, измерение параметров давления и температуры по входу и тракту ГТД, измерение влажности воздуха на входе в двигатель, измерение динамических параметров тензодеформации и виброускорения. Кроме того, станет возможным связать воедино на временной шкале данные скоростной видеосъемки процесса испытаний, статических и динамических параметров. На стенде № 22 планируется реализовать автоматизацию процесса испытаний (уровень АСУТП), так как в связи со значительно возрастающей сложностью испытаний управление в ручном режиме становится невозможным.

Таким образом, сейчас стенд Т-15 П позволяет проводить испытания элементов авиационной техники (планера самолета и др.), но не его двигателей, а на стенде № 22 с использованием мобильного комплекса АИИС стенда Т-15 П и дополнительного оборудования становится возможным испытывать ГТД. При этом возрастает число параметров и сложность управления, появляются измерения по тракту и на входе в двигатель, измерение силы от тяги двигателя, технологических параметров контроля топливной системы. Сложность возрастает на порядок. Требуется синхронизировать пролет птицы с движением лопаток двигателя, и осуществить скоростную видеосъемку этого момента.

Кроме того, в перспективе на стенде № 22 предполагается осуществить испытания на обледенение, при боковом ветре, при охлаждении оборудования до температуры рабочей среды, ресурсные испытания, испытания на реверсирование тяги, попадание воды и града, обледенение винтокрылых летательных аппаратах (ЛА)/крылатых ЛА и испытания на динамику полета винтокрылых ЛА.

Список литературы

1. Степанов В.А. Диагностика технического состояния узлов трансмиссии газотурбинных двигателей по параметрам продуктов износа в масле. М.: ЦИАМ. 2002. 232 с.
2. Егоров И.В., Карасев В.А., Максимов В.П. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах. М.: Машиностроение. 1987. 208 с.

*Моргачев Константин Владиславович — инженер программист ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»
Контактный телефон (906) 071-61-67.
E-mail: 0716167@gmail.com*