

УДК 623.4.018

А.Н. Бебенин¹, А.В. Зотов², С.В. Ширяев²**СИСТЕМА МЕР, НАПРАВЛЕННЫХ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ХОДЕ ИСПЫТАНИЙ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «БУРЕВЕСТНИК»²

Приведено обоснование необходимости рационального подхода к организации экспериментальной отработки сложных технических систем. Рассмотрены этапы проведения испытаний. Приведены факторы, требующие учёта при планировании и проведении различных испытаний, меры, выполнение которых требуется при подготовке и проведении испытаний. Сформулированы требования к персоналу, проводящему испытания и последующие обработку и анализ измерений.

Ключевые слова: сложные технические системы, испытания, измерения, измерительная аппаратура, обработка результатов испытаний, анализ результатов испытаний, требования к персоналу.

Создание принципиально новых образцов артиллерийского вооружения, удовлетворяющих высокими требованиями, предъявляемыми к ним как отечественным, так и иностранным заказчиком, требует использования не только принципиально новых конструкторских решений, но и применения новых материалов, технологий проектирования и отработки конструкций, технологий изготовления деталей и узлов в ходе серийного производства изделий. Жесткие требования к характеристикам перспективных артиллерийских систем делают необходимым реконструкцию производственной базы не только путем замены устаревшего оборудования современным, но и применением нового подхода к организации производства, обеспечивающего оптимальное использование результатов реконструкции, как в интересах артиллерийской отрасли, так и для использования при выпуске гражданской продукции, обеспечивающей окупаемость произведенных вложений.

По мере повышения требований к характеристикам артиллерийских систем и связанного с этим их технического усложнения роль испытаний в процессе изготовления объектов становится все более значительной. Известно, что при выпуске серийной продукции до 40% времени затрачивается на отладку и испытания. При этом большая стоимость испытаний и длительность их проведения становятся определяющими в общих затратах и сроках, необходимых для создания артиллерийских систем. Поэтому решение основной проблемы сокращения сроков создания и стоимости разработки артиллерийских систем во многом сводится к рациональной организации их экспериментальной отработки.

В любом испытании можно выделить следующие четыре этапа (фазы): *планирование испытаний, его проведение, обработка результатов испытаний, анализ полученных результатов и выработка решения.*

Качественное проведение измерений возможно только при рассмотрении работ по планированию как этапа опытно-конструкторской разработки. Программа испытаний должна создаваться параллельно с созданием объекта. Более того, в конструкции объекта, в его компоновке должны быть учтены требования, выполнение которых необходимо для проведения испытаний. При проектировании уникальных объектов параллельно должно производиться разработка и создание специального испытательного оборудования.

В общем случае при планировании проведения измерений должны быть выполнены следующие действия:

1. Чётко сформулирована цель проводимых измерений с учётом необходимой точности и надёжности проведения измерений.

2. Определен круг измеряемых параметров. Можно выделить два наиболее распространенных метода формирования перечня измеряемых параметров:

- путём определения критических значений показателей функциональных подсистем изделия на основе результатов математического моделирования динамики и прочности;
- экспертным методом на основе опыта проектирования и эксплуатации исследуемых систем.

3. Рассмотрены факторы, не зависящие от оборудования, но влияющие на выбор измерительной аппаратуры и технологии проведения измерений. К таким факторам относят:

- наличие подготовленного персонала;
- материальные средства, выделяемые на проведение измерений;
- время, отведённое на подготовку и проведение измерений;
- график работ, в рамках которых проводятся измерения;
- имеющиеся методы для анализа результатов измерений, их валидации и представления.

4. Осуществлён подбор измерительного оборудования с учётом таких факторов:

а) как измеряемые параметры (ускорение, скорость, перемещение, сила, деформация и т.д.). Характеристики измеряемых параметров (частотный и амплитудный диапазоны, фаза, направление, переходные характеристики, длительность и т.д.);

б) характеристики окружающей среды, в которой проходят испытания (температура, влажность, давление, акустический шум, электромагнитные поля, наличие коррозионных или абразивных элементов в окружающей среде, радиация, перегрузки и т.д.);

в) характеристики датчиковой аппаратуры:

- электрические характеристики (чувствительность, разрешение, поперечная чувствительность, линейность, динамический диапазон, частотный диапазон, эффекты от влияния окружающей среды);
- физические характеристики (масса, размер и т.д.);
- необходимость внешнего источника питания;
- необходимость заземления (изолированный датчик или с заземлением на корпус);
- наличие встроенного усилителя и другой электроники (для аналоговых датчиков);

г) тип и место крепления датчика (влияние крепления на характеристики датчика, влияние крепления на поведение испытуемого изделия, количество точек измерений, наличие мест для размещения датчиков, наличие стабилизированного прецизионного источника питания, простота установки, возможность неверной ориентации датчика при его установке);

д) метод передачи данных (коаксиальный кабель, витая пара, оптоволоконный кабель, телеметрия и т.д.);

е) характеристики аппаратуры связи (усилители, устройства согласования сигнала по уровню и форме, фильтры, анализаторы):

- электрические характеристики (входное и выходное сопротивление);
- помехоустойчивость;
- количество измерительных каналов;
- время проведения измерений;
- необходимость промежуточного хранения данных измерений;
- возможность проведения измерений в реальном времени.

ж) характеристики регистрирующей аппаратуры (электрические характеристики, продолжительность регистрации, мобильность и портативность, потребность в питании, корре-

ляция между записанными данными и физическим явлением, наличие резервирования для минимизации риска потери информации);

з) возможность проведения калибровки измерительной аппаратуры в полевых условиях;

и) анализ, валидация и представление данных (ручной или автоматический анализ, тип необходимого представления данных).

Результатом такого комплексного планирования должно стать создание руководящего документа, наиболее строго формализующего процесс подготовки и проведения измерений. Формализация процесса измерений способствует увеличению повторяемости измерений, уменьшению количества ошибок при подготовке к измерениям.

Качественная подготовка к проведению измерений, гарантирующая достоверные результаты измерений, может быть проведена только квалифицированным персоналом. Персонал, осуществляющий работу с измерительным оборудованием, должен обладать следующими знаниями и навыками:

- знаниями в области конструкции, принципов действия и основных характеристик используемых датчиков;
- навыками монтажа различной датчиковой аппаратуры;
- навыками прокладки кабельных трас, знаниями особенностей влияния используемых кабелей на результирующий сигнал;
- знаниями в области конструкции, принципов действия и основных характеристик используемой регистрирующей аппаратуры;
- знаниями имеющегося программного обеспечения управления процессом динамических измерений и видеорегистрации;

Проведение испытаний связано с реализацией во времени и пространстве программы испытаний. При этом вследствие ряда причин возможны «возмущения» программы. Поэтому испытатели должны быть готовы к необходимости выработки и принятия обоснованного оперативного решения для коррекции программы или компенсации влияния возмущающих воздействий. Как правило, оптимальность этих мероприятий в значительной мере определяется наличием временных, людских и материальных резервов (испытываемые объекты, испытательное оборудование), которые должны быть предусмотрены на этапе планирования испытаний.

Проведение измерений динамических параметров сложных технических систем должно сопровождаться регистрацией сигналов, являющихся откликом сенсорной сети изделия на механическое или электрическое воздействие.

Целью проведения измерений, в общем случае, является получение исходных данных для осуществления анализа параметров работы испытываемого объекта.

Одной из актуальных задач современной измерительной техники остаются высокоточная, надёжная регистрация, обработка и анализ статико-динамических параметров машин и механизмов (вибраций, пульсаций давлений, динамических деформаций, акустических колебаний, зазоров, оборотов роторов и др.). Комплексное решение указанной задачи стало возможным благодаря применению современной цифровой электроники, появлению и развитию технологий виртуальных приборов, реализации оптимальных методов и адаптивных алгоритмов обработки сигналов, цифровой обработки сигналов, а также использования двумерного и трёхмерного пространства для представления исходных данных, результатов обработки и анализа.

Общепринятым стандартом современного средства регистрации быстропротекающих динамических параметров является цифровой, мобильный или стационарный анализатор-регистратор крейтового типа. Конструкция данных регистраторов включает в себя набор основных элементов: несущее шасси, комплект сменных модулей, устройство ввода-вывода

информации. Такая конструкция позволяет получать гибкую легко масштабируемую измерительную систему.

Одним из условий, обеспечивающих эффективное и полное использование собираемых данных, является наличие информации о начальных условиях, в которых проводились измерения. В связи с этим проведение работ необходимо сопровождать обязательным заполнением электронного журнала измерений, в котором должна быть отражена информация:

- позволяющая идентифицировать испытуемое изделие;
- о дате и времени, месте проведения испытаний;
- о состоянии окружающей среды;
- характеризующая измеряемые параметры, используемое измерительное и регистрирующее оборудование;
- об отклонениях от программы испытаний, нештатных срабатываниях испытуемого изделия, аномальных результатах измерений.

В целях обеспечения сохранности результатов измерений и возможности их последующего сведения в единую базу данных, характеризующих конкретное изделие, необходимо обеспечить чёткую структуру хранения и каталогизации результатов измерений.

Между этапами обработки и анализа результатов испытаний не всегда можно провести четкую границу. Порой разделение этих этапов является весьма условным, во многом определяется характером испытаний и сложностью испытываемого объекта. Общим для обоих этапов является то, что на них производится преобразование информации. На этапе проведения испытаний информация добывается, на двух последующих этапах она преобразуется (обрабатывается).

Вследствие наличия в составе современных артиллерийских комплексов управляющих и исполнительных элементов, основанных на различных принципах действия, собираемая информация имеет сложную структуру. Интерпретация информации такого типа требует привлечения специалистов, обладающих квалификацией в различных, часто не связанных, областях знаний. Вместе с тем конечной целью проведения измерений является понимание особенностей работы испытуемого изделия. Данный результат может быть получен при глубоком всестороннем анализе данных, собираемых в ходе испытаний.

Сигнал, фиксируемый аппаратурой регистрации, является результатом отклика измерительной системы (испытуемое изделие, крепление датчика, датчик, средства связи, регистрирующая аппаратура) на внешние возмущающие воздействие, включающее в себя воздействие окружающей среды и целевое контролируемое воздействие.

Таким образом, сотруднику, осуществляющему анализ результатов измерений, необходимо уметь выделить в неискажённом виде интересующий его целевой сигнал. Для этого он должен обладать знаниями как об измеряемом параметре, так и о возможных возмущениях, накладываемых составляющими измерительной системы. Таким образом, сотрудник, осуществляющий анализ измерительной информации, должен обладать знаниями:

- о устройстве исследуемого изделия, режимах его работы;
- конструкции, принципе действия и основных характеристиках используемых датчиков;
- технологии монтажа датчиковой аппаратуры и её влиянии на результаты измерений;
- конструкции, принципе действия и основных характеристиках используемой регистрирующей аппаратуры;
- внешних условиях, при которых проводились испытания;
- типе испытаний, при которых были получены данные измерений;
- характеристиках и виде целевого измерительного сигнала;
- основах цифровой обработки сигналов;
- программных комплексах обработки и анализа сигналов;

Выполнение комплекса мер и требований, приведённых в статье и направленных на планирование, подготовку, проведение измерений и анализ их результатов, позволяет рассчитывать на сокращение сроков проведения испытаний и получение комплексной достоверной информации о поведении исследуемой технической системы при любом типе испытаний.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.N. Bebenin¹, A.V. Zotov², S.V. Shiryaev²

SYSTEM OF ACTIONS DIRECTED ON PROVIDING DETERMINATION OF FUNCTIONING PARAMETERS OF COMPLICATE TECHNICAL SYSTEMS DURING TESTS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
Joint Stock Company Central Research Institute "BUREVESTNIK"²

Justification of need of rational approach to the organization of experimental working off of difficult technical systems is given. Stages of carrying out tests are considered. The factors demanding the account when planning and carrying out various tests, the measures demanding implementation by preparation and carrying out tests are given. Requirements to the personnel which is carrying out tests and the subsequent processings and the analysis of measurements are formulated.

Key words: complicate technical systems, tests, measurements, measuring equipment, processing of results of tests, analysis of tests results, requirements to the personnel.