

С.Л.Александров, И.А.Павлович, А.Н.Быватов

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ИЗДЕЛИЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТЕНДАХ

Одной из актуальных задач промышленности является коренное улучшение качества выпускаемой продукции. Важное место в этом занимают вопросы метрологического обеспечения испытаний, являющихся завершающим этапом производства.

Гидравлические проливочные стенды, относящиеся к техническому оборудованию, предназначены для определения характеристик, контроля стабильности процессов изготовления и сборки агрегатов изделий.

В производственных условиях стенды после изготовления, а также при эксплуатации, подвергаются собственным метрологическим испытаниям, осуществляемым с целью проверки работоспособности и определения воспроизводимости их характеристик.

На основе анализа литературных источников и опыта эксплуатации гидравлических проливочных стендов к метрологическим характеристикам отнесены: градуировочная характеристика; случайная погрешность градуировочной характеристики; вариация градуировочной характеристики; чувствительность стенда по функциональному параметру; погрешность функционального параметра; энергетические и динамические параметры стенда; параметры проливочной жидкости.

При метрологических испытаниях должны определяться и фиксироваться эксплуатационные показатели стенда.

Градуировочная характеристика представляет собой зависимость величин, воспроизводящих эксплуатационную характеристику товарного агрегата, контролируемую на стенде при технологических испытаниях.

Градуировочная характеристика соответствует либо конкретной величине, контролируемой на стенде характеристики агрегата при определенных значениях установочных параметров, либо представляет их функциональную зависимость.

Градуировочная характеристика стенда, имея вид функциональной зависимости, представляется графической зависимостью или в форме уравнения параболы n -й степени. Степень полинома определяется из условия согласия математической модели и экспериментальных данных.

Градуировочная характеристика стэнда определяется по результатам математической обработки данных метрологических испытаний на стэнде контрольного агрегата в реперных точках установочных параметров.

Реперные точки градуировочной характеристики устанавливаются по данным конструкторской документации на испытываемый агрегат. В число реперных точек включаются граничные номинальные или расчетные и промежуточные значения градуировочной характеристики. Для проливочных стэндов может быть установлено несколько градуировочных характеристик.

Так, для стэндов, предназначенных для испытания центробежных насосных агрегатов, градуировочными характеристиками могут быть напорная, к.п.д. и кавитационная характеристики контрольного насоса, а также ряд параметров - осевая и радиальная сила и т.д.

Случайная составляющая погрешности стэнда оценивается по среднеквадратичному отклонению градуировочной характеристики в каждой реперной точке и определяется по результатам статистической обработки данных метрологических испытаний на стэнде контрольного агрегата.

Суммарную систематическую погрешность градуировочной характеристики стэнда часто невозможно оценить из-за отсутствия эталонных стэндов. Обычно она учитывается через поправочные коэффициенты, приводящие результаты технологических испытаний к условиям эксплуатации.

При проверке испытательных стэндов, предназначенных для определения гидравлического сопротивления или пропускной способности, суммарную систематическую погрешность можно найти методом сравнения полученной градуировочной характеристики с результатами испытаний контрольных агрегатов на образцовых расходомерах установках.

Для метрологического обеспечения технологических процессов испытания важное значение имеет определение элементарных систематических погрешностей, оцениваемых по величине разности между значениями градуировочных характеристик при наличии влияющих факторов и без них. Особое внимание при этом следует уделять систематическим погрешностям, связанным с монтажом испытываемого агрегата на стэнде и влиянием подсоединительных устройств на результаты испытаний. Данные метрологических испытаний одного из проли-

вочных стендов, полученные авторами, показывают, что значение этой погрешности может достигнуть 2-3% измеряемой величины.

Вариации градуировочной характеристики определяется отношением случайной составляющей погрешности к значению градуировочной характеристики и оценивается в каждой реперной точке.

Чувствительность стенда по функциональному параметру оценивается отношением изменения градуировочной характеристики к вызывающему его наименьшему изменению установочного параметра. Погрешность функционального параметра определяется точностью измерения и установки режимных параметров испытания - давления, расхода, температуры и т.д. Погрешность измерения может быть рассчитана по существующим методикам, при этом погрешность установки определяется экспериментально.

Динамические параметры стенда определяются амплитудно-частотными характеристиками пульсации давления и расхода жидкости в магистральных стенда, шумовыми и вибрационными характеристиками, зависимостью времени выхода средств измерений на установившийся режим и т.д.

Энергетические параметры стенда определяются максимальными значениями расхода, давления, числа оборотов и т.д. Параметры продиловочной жидкости определяются температурой, химическим составом, чистотой, плотностью, газосодержанием, энтальпией скоростей и т.д.

Эксплуатационные показатели стенда характеризуются освещенностью измерительных приборов визуального контроля, влажностью, температурой и давлением окружающего воздуха; напряжением и частотой электрического тока систем питания и т.д.

Определение таких метрологических характеристик стенда, как градуировочная характеристика и случайная погрешность, является обязательным условием проведения проверки и аттестации проливочных стендов.

Объем перечисленных метрологических характеристик, необходимый для комплексной оценки качества испытаний, в каждом конкретном случае определяется на основании тщательной проработки конструкторской документации и технических условий на изготовление и испытание агрегатов, выполнения расчетов по точности стендов при определении эксплуатационных характеристик агрегатов и отклонения характеристик агрегатов, связанных с погрешностью изготовления.

Анализ литературных источников показывает, что в настоящее время условия поверки и эксплуатации проливочных стэндов не установлены соответствующими нормативными документами, что усложняет получение достоверных результатов при метрологических испытаниях.

Например, окончательно не выявлено влияние, а следовательно не определены допустимые нормы таких факторов как вибрация стэнда, газосодержание в рабочей жидкости, пульсация рабочей жидкости в магистралах стэнда и т.д. на изменение получаемых при испытаниях значений эксплуатационных характеристик гидроагрегатов. Поэтому фактические значения большинства перечисленных метрологических характеристик должны определяться при первичной поверке, фиксироваться в технической документации и проверяться при внеочередной или периодической поверке.

Испытания стэндов с целью определения их метрологических характеристик, как указывалось выше, проводятся с применением контрольных агрегатов, с помощью которых моделируются реальные условия эксплуатации - устанавливаются значения расходов, давлений, угловых скоростей и т.д., имеющие место в процессе производства гидроагрегатов.

В качестве контрольных используются, как правило, товарные гидроагрегаты, соответствующие техническим условиям на изготовление и испытание серийной продукции.

Отсутствие единых требований к количеству и значениям характеристик контрольных агрегатов в поле допуска, а также неопределенность сроков и последовательности их применения, приводят при метрологических испытаниях стэндов к определенным трудностям. Это связано с выбором контрольных агрегатов, имеющих определенные значения характеристик, например, граничные или номинальные.

Такая же проблема существует при замене контрольных агрегатов, вышедших из строя или отработавших свой ресурс, так как подобрать агрегаты с аналогичными характеристиками весьма сложно и трудоемко.

Для стэндов должны устанавливаться рабочие и проверочные контрольные агрегаты, которые отличаются друг от друга периодичностью применения. Рабочие контрольные агрегаты применяются для периодической и внеочередной поверки стэндов, а проверочные - в случае несоответствия их результатов данным первичной поверки.

Метрологические характеристики стэндов, полученные с использованием контрольных агрегатов, нормируются при первичной поверке.

На основе соотношений предельной погрешности испытаний $\delta\varphi_{исп}$ и предельного допустимого отклонения эксплуатационных характеристик товарных агрегатов по техническим условиям $\delta\varphi_{т.у.}$ можно записать требования по допустимому отклонению характеристик рабочего и проверочного контрольных агрегатов друг от друга $\delta\varphi_k$ в следующем виде

$$\delta\varphi_k = K_1 K_2 \delta\varphi_{т.у.}, \quad (1)$$

где K_1 - коэффициент, зависящий от допустимого количества брака, невыявленного при технологических испытаниях;

K_2 - коэффициент, зависящий от допустимой величины погрешности, вносимой в отклонение градуировочной характеристики контрольными агрегатами.

Значение коэффициента $K_1 = \delta\varphi_{исп}/\delta\varphi_{т.у.}$ задается при проектировании стендов по результатам предварительных расчетов по определению допустимого количества брака, невыявленного при технологических испытаниях. Расчеты могут быть выполнены по зависимости работы [1].

Значения коэффициента K_2 рассчитываются по формуле

$$K_2 = \sqrt{(1+p)^2 - 1}, \quad (2)$$

где p - погрешность, вносимая в отклонение градуировочной характеристики контрольными агрегатами.

Формула (2) получена с учетом независимого влияния изменения характеристик контрольных агрегатов на отклонение градуировочных характеристик стенда при метрологических испытаниях.

Соотношение (1) должно выполняться также при замене контрольных агрегатов.

Контрольные агрегаты устанавливаются методом отбора из имеющейся партии товарных агрегатов или специальным изготовлением. Отбор контрольных агрегатов из имеющихся производится по результатам многократных испытаний товарных агрегатов на поверочном стенде с последующей математической обработкой статистических данных.

Специальное изготовление контрольных агрегатов производится по допускам на геометрические размеры гидравлического тракта, рассчитанным из требования обеспечения условия (1).

Расчетное уравнение точности имеет вид

$$\sigma \Phi_K = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i K_i \delta_i)^2}, \quad (3)$$

где a_i, K_i, δ_i - коэффициенты влияния, относительного рассеивания и предельные относительные отклонения функциональных геометрических параметров гидравлического тракта контрольных агрегатов, соответственно.

Значения a_i рассчитываются по методикам [2, 3]. Допуски δ_i на изготовление контрольных агрегатов могут быть определены с помощью известных методов проектного расчета размерных цепей.

Назначение допусков δ_i на размеры контрольных агрегатов должно проводиться с учетом технологических возможностей производства. После изготовления агрегатов с использованием рассчитанных допусков δ_i они подвергаются также многократным испытаниям. Объем испытаний в обоих случаях определяется из условия сохранения стабильности характеристик, ресурса и достаточности для статистической обработки.

К контрольным относят агрегаты, градуировочные характеристики которых, определенные по средним значениям, соответствуют условию (I).

Объем испытаний для определения контрольных агрегатов может быть уменьшен заменой штатных измерительных приборов и устройств стенда образцовыми с более высоким классом точности или при помощи дублирования измерений.

Изготовление контрольных агрегатов с ужесточенными значениями допусков на размеры гидравлического тракта, а также отбор агрегатов из имеющейся партии, связаны с большими материальными затратами. Поэтому для обеспечения отклонений эксплуатационных характеристик контрольных агрегатов в допуске $\sigma \Phi_K$ в конструкции могут быть предусмотрены регулирующие элементы. В первую очередь они необходимы в агрегатах, имеющих несколько контролируемых эксплуатационных характеристик.

Например, для контрольных центробежных насосов были разработаны конструкции регулируемых элементов, изменяющих напор, критический кавитационный запас, осевую силу [4, 5, 6]. Аналогичный подход может быть использован при выборе контрольных регуляторов давления, клапанов и т.д.

Следует отметить, что в общем случае при изготовлении контрольных агрегатов без регулирующих элементов значение $\delta\varphi_k$ должно учитывать не только погрешности производства, но и условия эксплуатации - возможные переборки контрольного агрегата и связанные с ними изменения характеристики, нестабильность характеристик агрегата за счет приработки и износа деталей и т.д.

Сроки службы контрольных агрегатов устанавливаются из требования сохранения стабильности эксплуатационных характеристик в течение всего срока эксплуатации и определяется по результатам ресурсных испытаний.

Для многоименных и многоагрегатных стэндов должно быть установлено соответствующее число контрольных агрегатов.

Известно, что при определении метрологических характеристик проливочных стэндов, предназначенных для определения пропускной способности или гидравлического сопротивления, в условиях производства применяются контрольные дросселирующие устройства, например, дроссельные напбы.

Дросселирующие устройства отличаются простотой конструкции, изготовления и, при обеспечении ряда специальных требований, стабильностью характеристик.

Выбор дросселирующих устройств в качестве контрольных агрегатов производится в случае, если характеристики товарных агрегатов нестабильны во времени, требуют их частой замены.

Следует отметить, что опыт эксплуатации проливочных стэндов показывает, что во многих случаях замена контрольных агрегатов на контрольные дросселирующие устройства не является правомерной. Это объясняется тем, что изменяется влияние внешних и внутренних факторов на метрологические характеристики стэнда, например, изменяется вибрация стэнда, пульсация рабочей жидкости в магистралях, номинальные значения контролируемых параметров (расхода или давления), температурный режим работы стэнда и т.д.

Все это в конечном итоге не позволяет с достаточной степенью надежности судить о достоверности полученных с помощью контрольных дросселирующих устройств метрологических характеристик стэнда при проведении технологических испытаний товарных агрегатов. Указанный вывод подтверждается рядом экспериментальных данных. Например, при проливке блока центробежных форсунок авторами замечено, что коэффициент вариации градуировочной характеристики в 1,43-2,31 раза больше, чем при проливке контрольного дросселирующего устройства.

Эти численные данные соответствуют примерно равным средним значениям контролируемых параметров (расхода и давления), что определило равенство основных инструментальных погрешностей при проведении метрологических испытаний.

Для агрегатов с ограниченным ресурсом работы и стабильностью эксплуатационных характеристик нормируемые значения погрешностей градуировочных характеристики могут быть установлены не по результатам метрологических испытаний контрольных агрегатов при первичной поверке стенда, а определены по данным точностных расчетов, например, по методике [7].

При дальнейшем развитии метрологической базы, создании эталонных проливочных стендов, учете всех действующих факторов, а также нормировании условий эксплуатации стендов и значений метрологических характеристик для поверки стендов, предназначенных для определения пропускной способности или гидравлического сопротивления, наиболее правильным будет использование дроселирующих устройств, выполненных в виде напайки.

В этом случае наиболее просто осуществить массовый выпуск комплектов контрольных напай с известными характеристиками, что позволит оценить систематическую погрешность поверяемого стенда.

Выводы

1. Установлены метрологические характеристики гидравлических проливочных стендов и сформулированы требования к контрольным агрегатам.

2. Определены условия воспроизводимости результатов испытаний при эксплуатации стендов.

3. Сокращены затраты, связанные с исправлением ошибочно забракованной и пропуском бракованной продукции, внедрены технически обоснованные методы метрологического обеспечения, способствующие повышению качества выпускаемых изделий.

Литература

1. Т а р и н И.С. Контроль и диагностика при испытаниях авиационных двигателей и гидроагрегатов. М.: Машиностроение, 1977. 168с.
2. П а в л о в и ч Д.А., А л е к с а н д р о в С.Д., Б и з а т о в А.Н. Стабильность характеристик гидроагрегатов при серийном изготовлении. - Вестник машиностроения, 1974; №2, с.13-16.

3. Павлович Л.А., Бматов А.Н., Александров С.Л., Харкиш В.В. Расчет допусков на геометрические размеры центробежного насоса из условия обеспечения заданной точности характеристик. - Энергомашиностроение, 1976, № 7, с. 39-41.
4. Павлович Л.А. Центробежный насос. Положительное решение по заявке № 2832615/26-06 от 22.07.80 г.
5. Александров С.Л. Центробежный насос. Авторское свидетельство № 623006. Виллетень изобретений № 33, 1976 г.
6. Александров С.Л., Павлович Л.А. Центробежный насос. Авторское свидетельство № 718627. Виллетень изобретений № 8, 1980.
7. Тарниш М.С. Контроль гидравлических сопротивлений. М.: Машиностроение, 1966. 155с.

УДК 629.735

В.Д.Лисенко, В.В.Щербатых, В.С.Несоленый

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ДОГНОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА ПРИ СБОРКЕ АГРЕГАТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В современном самолетостроении наблюдается тенденция роста габаритов, грузоподъемности и времени эксплуатации самолетов. Последнее требование ставит задачи увеличения ресурса механических точечных соединений, среди которых значительную часть составляют болтовые соединения. Для повышения ресурса болтовых соединений в настоящее время широко применяют процессы упрочняющей обработки поверхностей пластическим деформированием (ПД) и постановку болтов с упругопластическим натягом. Проведенные исследования [1] показали, что в конструкциях из алюминиевых сплавов многократное увеличение ресурса достигается при радиальном натяге 1,2-1,5%. Реализация такого натяга при постановке болта в процессе сборки требует применения мощных и, зачастую, крупногабаритных устройств. Равный эффект по ресурсу может обеспечить постановка болта с упругим натягом по посадке Pr_{2a} или Pr_3 в отверстия, подвергнутые предварительной упрочняющей обработке ПД с натягом до 3-3,5% [2].