

М.А. Будниченко, В.А. Некрасов
АО «ПО «Севмаш», Северодвинск, Россия

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЗАВОДСКИХ СТЕНДОВ ДЛЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СЕРИЙНО ИЗГОТАВЛИВАЕМОГО СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Объект и цель научной работы. Объектом научной работы является процесс создания виброакустических стендов для испытаний судового оборудования, изготавливаемого серийно, в соответствии с требованиями по виброакустическим характеристикам. Цель работы – разработка технологии создания виброакустических стендов, принципиальной особенностью которых является высокая пропускная способность, позволяющая проводить испытания серийно изготавливаемых изделий в сроки, установленные графиками их изготовления и поставки на стпель под монтаж.

Материалы и методы. Работа основана на структурном анализе и обобщении опыта создания виброакустических стендов АО «ПО «Севмаш» и интеграции их в производственно-технологический цикл.

Основные результаты. Основным результатом работы является технология создания виброакустических стендов в условиях интенсивно функционирующего судостроительного предприятия.

Закключение. Представленная технология является практическим поэтапным руководством, которое может оказать существенную помощь предприятиям судостроительной отрасли в создании собственных виброакустических стендов.

Ключевые слова: арматура, воздушный шум, вибрация, виброакустический стенд, виброшумовые характеристики, гидродинамический шум, гидрооборудование, испытания, комплекс стендовой акустической защиты.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Будниченко М.А., Некрасов В.А. Методология создания заводских стендов для виброакустических испытаний серийно изготавливаемого судового оборудования. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 2(384): 121–130.

УДК 534.647.006.26

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-384-121-130

M. Budnichenko, V. Nekrasov
JSC PO Sevmash, Severodvinsk, Russia

DEVELOPMENT METHODOLOGY OF FACTORY VIBROACOUSTIC TEST RIGS FOR INDUSTRIALLY PRODUCED SHIP EQUIPMENT

Object and purpose of research. This study discusses development of vibroacoustic test rigs for industrially produced ship equipment, as per the requirements to its vibroacoustic performance. The purpose of this work is to work out development methodology for vibroacoustic test rigs that would have high throughput capacity enabling the tests of serially produced articles within the time limits specified by their respective schedules of manufacturing and mounting readiness for at the berth.

Materials and methods. This work is based on structural analysis and generalization of JSC PO Sevmash experience in development of vibroacoustic test rigs and their integration to manufacturing & technology cycle.

Main results. The main result of this work is development technology for vibroacoustic test rig at a shipyard with high workload.

Conclusion. This technology is a practical stage-by-stage guide that could be of considerable help for shipbuilding enterprises in development of their own vibroacoustic test rigs.



Key words: fittings, airborne noise, vibration, vibroacoustic test rig, noise & vibration parameters, flow noise, hydraulic equipment, test, acoustic test rig.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Budnichenko M., Nekrasov V. Development methodology of factory vibroacoustic test rigs for industrially produced ship equipment. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; 2(384): 121–130 (in Russian).

UDC 534.647.006.26

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-384-121-130

В связи с расширением номенклатуры и увеличением количества изделий судового оборудования, к которым предъявляются требования по акустическим характеристикам, задача своевременных акустических испытаний серийно изготавливаемых изделий без нарушения сроков поставки на стапель под монтаж стала актуальной для каждого завода-изготовителя.

Решить эту задачу можно двумя способами: либо на договорной основе использовать имеющиеся испытательные стенды сторонних организаций, либо построить свой собственный стенд. Выбор зависит от многих факторов. В первую очередь от количества изделий, подвергаемых испытаниям, удаленности испытательного стенда, стоимости испытаний.

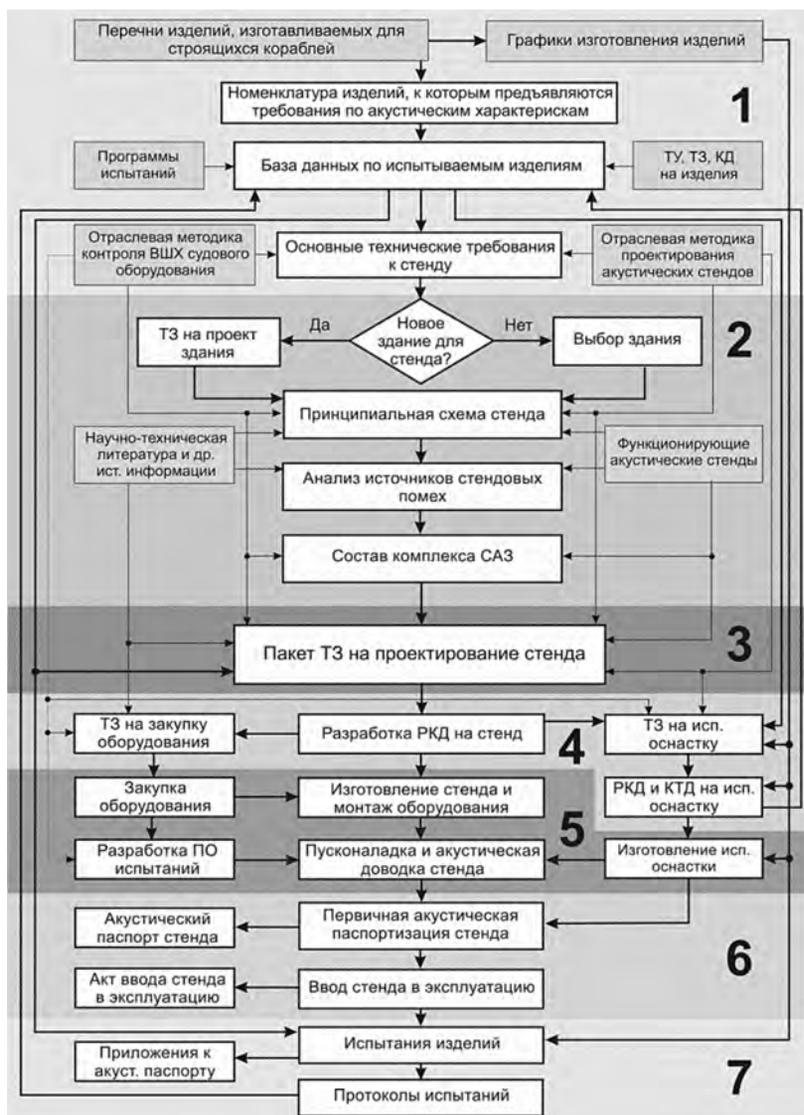


Рис. 1. Методология создания собственного акустического испытательного стенда заводом, серийно изготавливающим судовое оборудование

Fig. 1. In-house methodology of acoustic test rig development by the shipyard industrially producing ship equipment

Очевидно, и это подтверждает опыт АО «ПО «Севмаш», что в случае больших объемов изделий, подвергаемых акустическим испытаниям перед отправкой на стапель, оптимальным выбором для завода-изготовителя будет собственный виброакустический испытательный стенд. Виброакустические стенды являются сложными и дорогостоящими техническими объектами, существенно отличающимися друг от друга как, например, стенд для испытаний арматуры систем вентиляции и стенд для испытаний крупногабаритного оборудования. Однако процессы создания стендов для испытаний серийно изготавливаемых изделий могут быть подчинены общей методологии, соблюдение которой позволит обеспечить достижение необходимого конечного результата (при наличии необходимого финансирования).

Ниже рассматривается методология создания виброакустических стендов, предназначенных для виброакустических испытаний серийно изготавли-

ваемого судового оборудования, базирующаяся на опыте АО «ПО «Севмаш». Вопросы финансирования не рассматриваются, за исключением некоторых вопросов, оказывающих значительное влияние на стоимость и сроки создания стенда. Методология создания такого стенда схематически представлена на рис. 1.

На схеме выделены семь основных этапов:

1. Разработка основных технических требований к стенду (ОТТ).
2. Разработка принципиальной схемы стенда и состава комплекса стендовой акустической защиты (комплекса САЗ).
3. Разработка технических заданий на стенд (ТЗ).
4. Проектирование стенда и испытательной оснастки.
5. Изготовление стенда и закупка оборудования.
6. Акустическая паспортизация и ввод стенда в эксплуатацию.
7. Промышленная эксплуатация стенда.

Таблица 1. Перечень характеристик в составе основных технических требований акустического стенда, предназначенного для испытаний арматуры и гидравлического оборудования

Table 1. List of parameters included to the main technical requirements to the acoustic test rig for fittings and hydraulic equipment

№ п/п	Характеристики стенда	Значение
1	Параметры рабочей среды, транспортируемой через изделие	
1.1	Тип рабочей среды	тип, ГОСТ
1.2	Давление, МПа	максимальное
1.3	Расход, м ³ /час или л/мин.	диапазон
1.4	Температура, °С	диапазон
2	Технические характеристики испытываемых изделий	
2.1	Условные диаметры проточных частей, мм	диапазон
2.2	Вес, кг	максимальный
2.3	Габариты: длина×ширина×высота, мм	максимальные
2.4	Коэффициент гидравлического сопротивления, Па·с/м* Гидравлическое сопротивление, Па** Аэродинамическое сопротивление, Па***	максимальное для рабочей среды с параметрами, указанными в п. 1
3	Акустические помехи стенда	
3.1	Логарифмические уровни помех по вибрации, дБ относительно 3·10 ⁻⁴ м/с ²	частотный диапазон, Гц максимальный уровень, дБ
3.2	Логарифмические уровни помех по ВШ (звуковому давлению), дБ относительно 2·10 ⁻⁵ Па	частотный диапазон, Гц максимальный уровень, дБ
3.3*	Логарифмические уровни помех по ГДШ, дБ относительно 2·10 ⁻⁵ Па	частотный диапазон, Гц максимальный уровень, дБ

* для арматуры водяных систем, ** для гидрооборудования, *** для арматуры систем вентиляции и кондиционирования.

Разработка основных технических требований к стенду

Development of main technical requirements to the test rig

На этапе разработки ОТГ из перечней судового оборудования, серийно изготавливаемого предприятием, должны быть отобраны изделия, к которым предъявляются требования по виброакустическим характеристикам. ОТГ разрабатываются на основе анализа данных, приведенных в конструкторской документации, технических условий и программ испытаний отобранных изделий с учетом требований отраслевых методик контроля виброакустических характеристик судового оборудования и проектирования виброакустических стендов. Набор пара-

метров ОТГ виброакустических стендов для испытательной арматуры и гидравлического оборудования перечислен в табл. 1.

Существенную помощь в обобщенном анализе технических характеристик испытываемых изделий, требований к видам и режимам испытаний, особенно в случаях большого разнообразия типов, окажет электронная база данных, сформированная, например, в системе управления базами данных (СУБД) Microsoft Access пакета Microsoft Office. Анализ данных базы позволит также уточнить оценку производственно-экономической целесообразности создания собственного стенда для испытаний конкретных изделий, т.к. возможна ситуация, когда количество изделий определенного типа, включенных в общую номенклатуру, невелико, и есть возможность воспользоваться суще-

Таблица 2. Поля учетной карточки изделия в базе данных «Гидрооборудование»
Table 2. Fields of article's record card in Hydraulic Equipment database

Информационное поле	Тип данных	Содержание информационного поля
Наименование	текст	полное наименование изделия
№ чертежа	текст	номер чертежа
Проектант	текст	проектант изделия
Программа испытаний	текст	номер ПМ
Технические условия	текст	номер ТУ или ТЗ
Другие документы	текст	номера документов, на которые имеются ссылки в ПМ и ТУ
Рабочая среда	текст	рабочая среда изделия
Исполнение	текст	вариант исполнения: штуцерное или фланцевое
Управление	текст	вариант управления: не требуется, гидравлическое, электрическое
Материал	текст	марка материала проточной части
Габариты (мм)	числа	длина/ширина/высота в мм
Масса (кг)	число	масса изделия в кг
Ду (мм)	число	условный проход
Ру (кг/см ²)	число	рабочее давление
V _{ср} (м/с)	число	скорость потока рабочей среды
Q _{ср} (л/мин или м ³ /час)	число	расход рабочей среды в л/мин. для ГО или в м ³ /час для водяной и воздушной арматуры
Эскиз	гипер-ссылка	путь к файлу с эскизом и установочными размерами
Наименование	текст	полное наименование изделия
№ чертежа	текст	номер чертежа
Проектант	текст	проектант изделия

ствующими стендами сторонних предприятий без нарушения графиков поставки данных изделий на стпель под монтаж.

При разработке ОТГ к испытательным стендам АО «ПО «Севмаш» была сформирована база данных, учетной единицей которой является учетная карточка изделия, которая содержит информацию, приведенную в табл. 2. Эта база использовалась на всех этапах создания стендов. Пополняемая информацией об испытательной оснастке и протоколах испытаний, она используется и в процессе их промышленной эксплуатации.

Дополнительно к параметрам, указанным в табл. 1, в ОТГ к стенду должно быть включено требование по пропускной способности стенда, т.к. принципиальной особенностью акустических испытаний оборудования, изготавливаемого серийно, является интеграция этих испытаний в производственно-технологический процесс без нарушения графиков поставки изделий на стпель под монтаж.

Разработка принципиальной схемы стенда

Development of principal layout for the test rig

На этапе разработки принципиальной схемы стенда должны быть решены следующие задачи:

- выбор места размещения стенда;
- разработка принципиальной гидравлической схемы стенда с привязкой к месту его размещения;
- выполнение анализа внешних источников помех и разработка ориентировочного состава

комплекса САЗ для защиты стенда от вибрационных и шумовых помех внешнего и внутреннего происхождения.

В начале этапа должны быть определены возможность и целесообразность строительства специального здания для размещения стенда. От решения этого вопроса существенно зависят стоимость, сроки создания, принципиальная схема стенда и состав комплекса САЗ.

Проектирование и строительство специального здания существенно увеличит стоимость и сроки создания стенда, но преимуществом такого решения является то, что новое здание будет спроектировано под размещение конкретного объекта, что позволит реализовать наиболее оптимальный вариант принципиальной схемы стенда, обеспечить максимально возможную помехозащищенность, наиболее полно выполнить требования и рекомендации методик проектирования виброакустических стендов.

Второй вариант является намного менее затратным как по стоимости, так и по срокам. Однако в этом случае стенд нужно будет «вписать» в существующее здание и его инфраструктуру. Состав комплекса САЗ при этом может существенно отличаться от первого варианта.

Важнейшим вопросом, который должен быть решен при разработке гидравлической схемы стенда, является выбор способа обеспечения транспортировки рабочей жидкости через испытываемое изделие, которая может осуществляться либо в режиме вытеснения, либо в режиме циркуляции.

В режиме вытеснения (рис. 2) транспортировка рабочей жидкости через испытываемое изде-

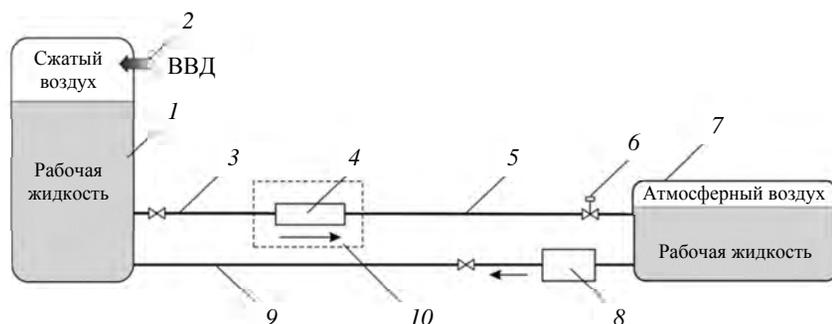


Рис. 2. Упрощенная гидравлическая схема виброакустического стенда, работающего в режиме вытеснения: 1 – вытеснительная емкость; 2 – система подачи ВВД; 3 – напорный трубопровод; 4 – испытываемое изделие; 5 – сливной трубопровод; 6 – регулирующая арматура; 7 – приемный бак; 8 – насос; 9 – трубопровод перекачки; 10 – испытательный участок

Fig. 2. Simplified hydraulic layout of vibroacoustic test rig working in the displacement mode: 1 – displacing reservoir; 2 – high-pressure air supply system; 3 – pressure pipe; 4 – test object; 5 – drainage pipe; 6 – adjustment fittings; 7 – receiving tank; 8 – pump; 9 – transfer pipe; 10 – test section

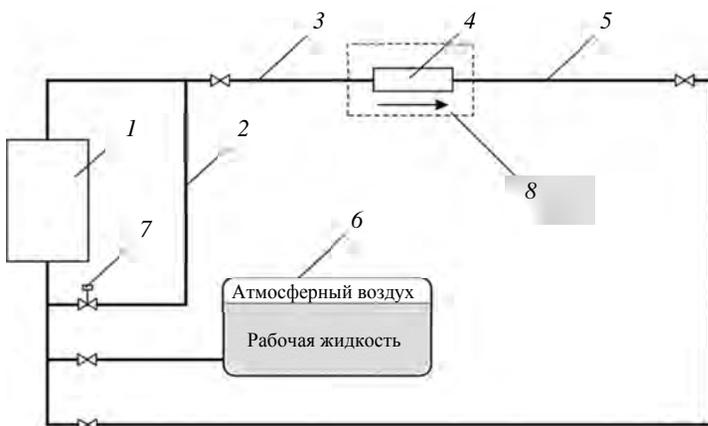


Рис. 3. Упрощенная гидравлическая схема виброакустического стенда, работающего в режиме циркуляции:

1 – насос; 2 – байпасная ветка;
3 – напорный трубопровод;
4 – испытываемое изделие; 5 – сливной трубопровод; 6 – расходный бак;
7 – регулирующая арматура;
8 – испытательный участок

Fig. 3. Simplified hydraulic layout of vibroacoustic test rig working in the circulation mode:

1 – pump; 2 – bypass branch; 3 – pressure pipe;
4 – test object; 5 – drainage pipe; 6 – service tank;
7 – adjustment fittings; 8 – test section

лие 4, установленное на испытательном участке (ИУ) 10 между напорным 3 и сливным 5 трубопроводами, обеспечивается вытеснением ее сжатым воздухом из вытеснительной емкости 1 в приемный бак 7. Скорость транспортировки и давление рабочей жидкости настраиваются регулирующей арматурой 6. Восполнение рабочей жидкости в вытеснительной емкости осуществляется из приемного бака насосом 8 через трубопровод перекачки 9.

Режим вытеснения является акустически менее активным, чем режим циркуляции, что позволяет достичь наименьших уровней стендовых помех от источников внутреннего происхождения.

Недостатками режима вытеснения являются:

- сложность реализации, которая для стенда с водной рабочей средой значительно возрастает, т.к. в соответствии с требованиями правил безопасности при эксплуатации установок, работающих под давлением, напорная емкость, из которой вода вытесняется сжатым воздухом, является объектом повышенной опасности и должна быть размещена в отдельном капитальном сооружении, удаленном от мест постоянного пребывания людей;
- перерывы в испытаниях, необходимые для перекачки вытесненной жидкости из приемного бака в вытеснительную емкость, что снижает пропускную способность стенда в случае больших расходов рабочей жидкости в процессе испытаний арматуры с большим внутренним диаметром проточной части.

В режиме циркуляции (рис. 3) транспортировка рабочей жидкости через испытываемое изделие 4 обеспечивается насосом 1, к которому напорный 3 и сливной 5 трубопроводы подключены по замкнутой схеме. Регулировка скорости

потока рабочей жидкости чаще всего осуществляется с помощью байпасной ветки 2. Потери рабочей жидкости восполняются насосом из расходного бака 6.

Режим циркуляции позволяет обеспечить высокую пропускную способность, поскольку потери рабочей жидкости в трубопроводах стенда незначительны и не требуют больших затрат времени на их восполнение.

Недостатком стенда, работающего в режиме циркуляции, является необходимость принятия дополнительных мер по составу комплекса САЗ для снижения на испытательном участке уровней стендовых помех внутреннего происхождения, поскольку и насос, и байпасная ветка часто являются источниками значительных помех по вибрации, воздушного и гидродинамического шума.

Разработка состава комплекса стендовой акустической защиты

Development of the acoustic test rig configuration

Формирование комплекса САЗ должно быть основано на анализе источников вибрационных и шумовых помех внешнего и внутреннего происхождения и путей их распространения от источников к ИУ. В табл. 3 приведен перечень и характеристики основных источников шумовых и вибрационных помех внешнего происхождения по данным [1–5] по отношению к виброакустическим стендам АО «ПО «Севмаш». Вибрационные помехи от источников, размещенных снаружи здания, в котором находится стенд, передаются по грунту и фундаментным конструкциям здания. Шумовые

помехи – по воздушному пространству, окружающему здание. Они могут проникать во внутреннее пространство здания через стены, крышу, въездные ворота, оконные и дверные проемы.

Собственные помехи внутреннего происхождения по вибрации, воздушному и гидродинамическому шуму виброакустических испытательных стендов излучаются в основном шумо- и виброактивным стендовым оборудованием (насосы, вентиляторы, запорно-регулирующая арматура и т.д.), обеспечивающим транспортировку среды с заданными параметрами через испытываемое изделие. Помехи передаются от источников к ИУ по структурному каналу (фундаментные и другие строительные конструкции, стенки трубопроводов и т.п.), воздушному каналу (внутрицеховое воздушное пространство) и по транспортируемой рабочей среде. Между каналами распространения

помех существует интенсивный обмен акустической энергией.

Гидравлическая схема стенда и состав комплекса САЗ должны быть предварительно согласованы с разработчиком отраслевых методик измерений виброакустических характеристик и методик проектирования испытательных стендов, что позволит до начала проектирования выявить, устранить или минимизировать все возможные отклонения от требований указанных методик.

Разработка технических заданий на стенд

Development of Technical Assignments for the test rig

Разработка ТЗ на проектирование виброакустического стенда является важнейшим этапом его со-

Таблица 3. Характеристики источников внешних вибрационных и шумовых помех испытательных стендов АО «ПО «Севмаш»

Table 3. Parameters of external noise and vibration interference sources for JSC PO Sevmas test rigs

Источники помех	Характеристика	Значение	Диапазон частот
Цеха с кузнечно-прессовым оборудованием	Расстояние до цехов, м	> 2400	НЧ
Заводской автомобильный транспорт	Расстояние от ИУ до дороги, м	150	НЧ, СЧ
	Средняя интенсивность движения, проездов в дневную смену	до 10	
Заводской железнодорожный транспорт	Расстояние от ИУ до железнодорожных путей, м	250	НЧ
	Средняя интенсивность движения, проездов в дневную смену	до 2	
Городской автомобильный транспорт на скорости не более 60 км/час	Расстояние от дороги до здания в зоне прямой видимости, м	> 400	НЧ, СЧ
	Средняя интенсивность движения, проездов в дневную смену	< 1200	
	Экранирующие сооружения	4- и 6-этажные здания	
Внутрицеховое станочное оборудование	Отсутствует		СЧ, ВЧ
Внутрицеховое подъемно-транспортное оборудование	Во время испытаний не используется		НЧ
Система цеховой вентиляции:			НЧ, СЧ, ВЧ
тепловые завесы	На время испытаний отключаются		НЧ, СЧ

Примечание: НЧ – диапазон нижних частот, СЧ – диапазон средних частот, ВЧ – диапазон верхних частот.

Таблица 4. Состав пакета ТЗ на стенд для виброакустических испытаний судовой арматуры

Table 4. Components of Technical Assignment package for the vibroacoustic test rig for ship fittings

Наименование технического задания	Примечание
1. ТЗ на разработку рабочей конструкторской документации на изготовление стенда для акустических испытаний судовой арматуры на соответствие требованиям по ВШХ	Основное ТЗ
2. ТЗ на проектирование помещений для размещения стенда	
3. ТЗ на проектирование испытательного участка	
4. ТЗ на проектирование системы подготовки и транспортировки рабочей среды	ТЗ на составные части стенда
5. ТЗ на проектирование системы управления стендом	
6. ТЗ на закупку виброакустической измерительно-анализирующей системы	

здания. Для успешной реализации проекта на этом этапе должны быть намечены пути выполнения технических требований к стенду. От качества ТЗ, глубины и всесторонней проработки основных вопросов и вопросов сопутствующих, на первый взгляд не являющихся основными, в конечном итоге зависит качество будущего стенда. Поскольку в состав стенда входят разные по назначению системы, для проектирования которых требуется привлечение разных по специализации проектантов, то помимо основного ТЗ могут быть разработаны дополнительные ТЗ на проектирование отдельных его составных частей (систем). Ориентировочный состав пакета ТЗ на стенд испытаний судовой арматуры с размещением в существующем здании приведен в табл. 4.

Проектирование стенда и испытательной оснастки

Design of test rig and its rigging

Отличительной особенностью стенда для испытаний серийно изготавливаемого разнотипного судового оборудования является многовариантность конфигураций испытательного участка, который должен обладать возможностью установки на нем изделий, различных по габаритам, весу, количеству и геометрии проточных частей, площадям и формам их сечений. Следствием

этого является необходимость в индивидуальных комплектах испытательной оснастки для каждого типа изделий. В состав каждого комплекта входит металлическая опорная конструкция (МОК), прямоточные и угловые патрубки, конфузторы и диффузоры, гибкие вставки в трубопроводы, мягкие и жесткие подвески трубопроводов, компенсаторы длины и т.п. Объем КД на оснастку может многократно превышать объем КД на стенд. Поэтому разработка ТЗ и проектирование испытательной оснастки должна быть начата, по возможности, сразу после разработки РКД на испытательный участок, вестись параллельно с проектированием и изготовлением стенда и, возможно, продолжена в процессе последующей его промышленной эксплуатации. Очередность проектирования комплектов оснастки устанавливается графиками изготовления и поставки изделий на стпель под монтаж. Информацию о КД на оснастку рекомендуется накапливать в электронной базе данных, упомянутой выше, что позволит сократить объемы и сроки проектирования и изготовления новых комплектов целиком или частично за счет использования подходящих конструкций (переходников, патрубков, подвесок и т.д.), спроектированных и изготовленных для испытаний других изделий.

На этапе проектирования стенда должны быть разработаны также ТЗ на проектирование, изготовление и закупку необходимого стендового оборудования, в том числе на закупку измерительно-

анализирующей системы, которую рекомендуется приобрести заранее. Это позволит заблаговременно осуществить обучение персонала и разработать необходимое прикладное ПО.

Акустическая паспортизация стенда

Acoustic certification of the test rig

Основным документом, разрешающим применение акустического стенда для измерения акустических характеристик судового оборудования, является акустический паспорт, утвержденный ведущим отраслевым научным центром – разработчиком методик акустических испытаний и проектирования акустических стендов. Поэтому перед началом эксплуатации стенда необходимо с привлечением разработчика указанных методик отраслевым исполнителем первичную акустическую паспортизацию стенда. По ее результатам должен быть оформлен и утвержден первичный акустический паспорт, содержание которого установлено отраслевой методикой проектирования стендов.

До начала акустической паспортизации стенда, предназначенного для испытаний судового оборудования с транспортировкой рабочей среды через проточные части, должны быть спроектированы и изготовлены имитаторы изделий, идентичные им по массе, присоединительным размерам и геометрическим параметрам проточных частей.

После завершения работ по изготовлению стенда и проверки его эксплуатационных характеристик должны быть выполнены измерения собственных виброакустических характеристик стенда. Для этого вместо испытываемого изделия устанавливается имитатор, и в такой конфигурации измеряются собственные акустические характеристики стенда на режимах и в точках, предусмотренных методикой акустической паспортизации. В случае получения неудовлетворительных результатов должны быть разработаны и реализованы дополнительные мероприятия по акустической доводке стенда, после чего паспортизация выполняется заново.

В случае большой номенклатуры изделий, подлежащих акустическим испытаниям, по согласованию с научным центром допускается выполнение первичной акустической паспортизации с одним или несколькими имитаторами. Например, с наименьшим и наибольшим диаметрами проточных частей.

Промышленная эксплуатация

Industrial operation

В процессе промышленной эксплуатации акустическая паспортизация стенда выполняется повторно в следующих случаях: истечение срока действия акустического паспорта, расширение номенклатуры испытываемых изделий, а также после модернизации стенда. Результаты повторных акустических паспортизаций оформляются протоколами, являющимися приложением к первичному акустическому паспорту. Протоколы утверждаются ведущим отраслевым научным центром.

Библиографический список

References

1. *Алексеев С.П., Казаков А.М., Колотилов Н.Н.* Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. М.: Машиностроение, 1970. [*S. Alekseev, A. Kazakov, N. Kolotilov.* Noise and vibration mitigation in engineering. Moscow: Mashinostroyeniye, 1970. (*in Russian*)].
2. Борьба с шумом на производстве. М.: Машиностроение, 1985. [*Noise mitigation at industrial facilities, Moscow: Mashinostroyeniye, 1985. (in Russian)*].
3. *Колесников А.Е.* Шум и вибрация. Л.: Судостроение, 1988. [*A. Kolesnikov.* Noise and vibration. Leningrad: Sudostroyeniye, 1988. (*in Russian*)].
4. *Хекл М., Мюллер Х.А.* Справочник по технической акустике. Л.: Судостроение, 1980. [*M. Heckl, G. Müller.* Taschenbuch der Technischen Akustik. Leningrad: Sudostroyeniye, 1980. (*Russian translation*)].
5. *Тольский В.Е.* Виброакустика автомобиля. М.: Машиностроение, 1988. [*V. Tolsky.* Car vibroacoustics. Moscow: Mashinostroyeniye, 1988. (*in Russian*)].

Сведения об авторах

Будниченко Михаил Анатольевич, к.т.н., генеральный директор АО «ПО «Севмаш». Адрес: Россия, 164500, Северодвинск, Архангельская обл., Архангельское шоссе, д. 58. Тел.: 8 (8184) 50-47-17.
E-mail: smp@sevmash.ru.

Некрасов Владимир Александрович, к.т.н., начальник сектора АО «ПО «Севмаш». Адрес: Россия, 164500, Северодвинск, Архангельская обл., Архангельское шоссе, д. 58. Тел.: 8 (8184) 50-47-17.
E-mail: smp@sevmash.ru.

About the authors

Budnichenko, Mikhail A., Director General, JSC PO Sevmash. Address: 58, Arkhangelskoye shosse, Severodvinsk, Arkhangelsk Oblast, Russia, post code 164500. Tel.: 8 (8184) 50-47-17. E-mail: smp@sevmash.ru.

Nekrasov, Vladimir A., Cand. of Tech. Sc., Head of Sector, JSC PO Sevmash. Address: 58, Arkhangelskoye shosse, Severodvinsk, Arkhangelsk Oblast, Russia, post code 164500. Tel.: 8 (8184) 50-47-17. E-mail: smp@sevmash.ru.

Поступила / Received: 28.03.18
Принята в печать / Accepted: 04.06.18
© Будниченко М.А., Некрасов В.А., 2018