

Технология создания виброакустической защиты судового оборудования, как совокупность расчетных и экспериментальных методов

С. В. Попков*

*Крыловский государственный научный центр. Россия,
196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44*

(Статья поступила 10.07.2017; Подписана в печать 13.09.2017)

Для создания виброакустической защиты судового оборудования необходимо учитывать потоки колебательной энергии, распространяющиеся от источников как через опорные и неопорные связи, так и в виде воздушного шума. Предложен перечень расчетных методов, используемых при создании виброакустической защиты. Представлены номенклатура виброакустических параметров оборудования и перечень динамических характеристик средств виброакустической защиты, для определения которых необходимо использовать экспериментальные методы и стендовую базу для проведения измерений.

PACS: 43.40.+s;43.50.+y

УДК: 534.1:534.2

Ключевые слова: вибрация, воздушный шум, гидродинамический шум, динамическая сила, колебательная мощность, виброизоляция, звукоизоляция.

ВВЕДЕНИЕ

При создании виброакустической защиты решается задача минимизации значений потоков колебательной энергии от источников колебаний к корпусным конструкциям судна и далее в окружающую среду. На судах основными путями распространения колебаний от оборудования являются (рис. 1) [1, 2]:

1. опорные связи (механические колебания);
2. неопорные связи (механические и акустические колебания);
3. воздушный шум (акустические колебания).

Для уменьшения передачи через опорные связи (ОС) механических колебаний, характеризующихся динамическими силами и колебательным ускорением, применяют системы виброизоляции — опорные, упорные, опорно-упорные. Для уменьшения передачи через неопорные связи механических колебаний, характеризующихся динамическими силами и колебательным ускорением, применяют гибкие вставки. Для уменьшения акустических колебаний (звуковая составляющая гидродинамического шума), передающихся через НОС, используют глушители. Для снижения воздушного шума (звуковое давление воздушного шума) используют звукоизолирующие конструкции — кожухи, экраны и зашивки.

1. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

Технология создания виброакустической защиты судового оборудования, представляющая совокупность

расчетных и экспериментальных методов, направлена на создание равнопрочной по всем путям распространения колебаний виброакустической защиты, которая:

1. Обеспечивает заданные требования к вибрационным и акустическим характеристикам судна (задача эффективности виброакустической защиты).
2. Исключает доминирование какого-либо из путей передачи колебаний от оборудования (задача равнопрочности виброакустической защиты).
3. Обеспечивает функционирование средств виброакустической защиты в процессе эксплуатации судна (задача работоспособности виброакустической защиты).

Создание виброакустической защиты осуществляется с использованием параметров, представленных на рис. 1.

Создание виброакустической защиты судового оборудования невозможно без знания виброакустических характеристик оборудования как источника колебаний. В качестве таких характеристик, прямо пропорциональных излучаемой оборудованием колебательной энергии, используются [1] (рис. 1):

1. среднеквадратичные по точкам крепления уровни вибрации оборудования;
2. величины динамических сил, действующих при работе оборудования на фундаментные конструкции с большим входным механическим сопротивлением;
3. излучаемые оборудованием в рабочую среду уровни звуковой составляющей давления гидродинамического шума;
4. излучаемые в виде воздушного шума уровни звуковой мощности.

*E-mail: krylov6@krylov.spb.ru

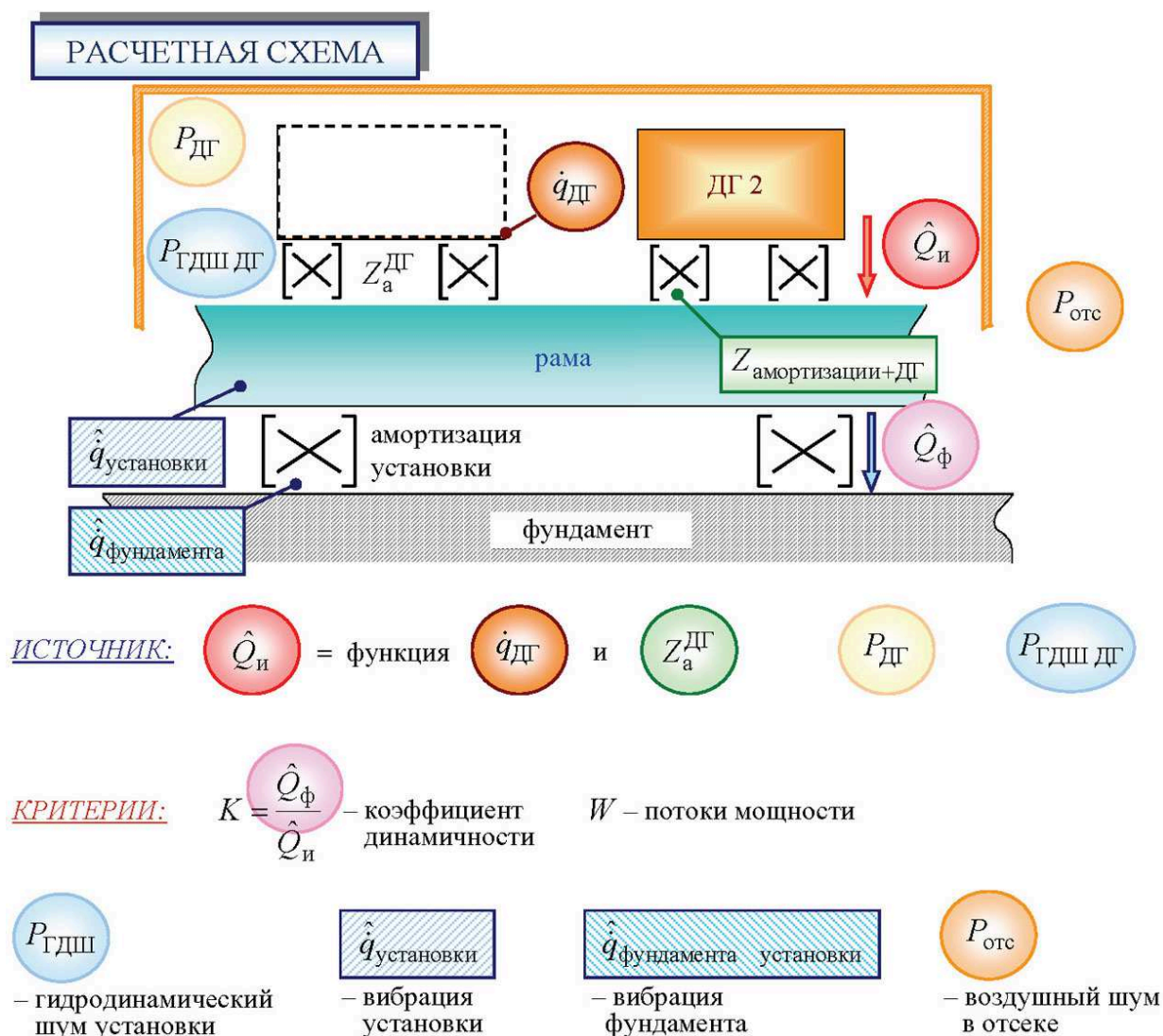


Рис. 1: Перечень параметров, используемых при создании виброакустической защиты оборудования

Определение упомянутых виброакустических характеристик оборудования расчетным путем невозможно. Целесообразно выполнять их измерение в условиях специальных акустических стендов.

Основными методами, используемыми при создании виброакустической защиты, являются расчетные методы и программное обеспечение, позволяющие произвести:

1. расчет колебаний оборудования в судовых условиях;
2. расчет распространения колебаний по несущим конструкциям установок, фундаментным и корпусным конструкциям судов;
3. расчет уровней воздушного шума в судовых помещениях и его влияния на вибрационные и шумовые характеристики судна;

4. расчет колебаний систем трубопроводов с учетом взаимного преобразования и учета обмена энергией между акустическими и механическими колебаниями;

5. расчет эффективности использованных средств виброакустической защиты;

6. расчет работоспособности амортизирующего крепления оборудования в условиях эксплуатации.

Для успешного выполнения расчетов необходимо знание частотных характеристик комплексных механических и акустических сопротивлений средств виброакустической защиты — амортизаторов различных типов, гибких вставок, муфт, глушителей гидродинамического шума и т.п. Значения этих сопротивлений определяются с помощью измерений в условиях

специальных стендов и последующим использованием расчетно-экспериментальных методов, например, [3].

При создании пространственных систем виброизоляции оборудования для обеспечения предельно допустимых уровней вибрации фундаментов и динамических сил, действующих при работе оборудования на фундаментные конструкции судна возможны две принципиальные схемы компоновки оборудования:

1. индивидуальное крепление отдельного оборудования к фундаментным конструкциям через виброизолирующее крепление;
2. крепление нескольких механизмов на индивидуальной виброизоляции на единой несущей (промежуточной) рамной конструкции, которая, в свою очередь, крепится к фундаменту через второй каскад виброизоляции. Эти сооружения носят наименование «агрегатированные установки».

При компоновке механизмов и систем трубопроводов в агрегатированные установки удается получить максимальные эффекты по уменьшению потоков колебательной энергии по всем трем путям ее распространения: через амортизацию, по воздушной среде и через трубопроводы.

Создание пространственных систем виброизоляции оборудования выполняется в три этапа [4]:

1. Выбор схемы и объема средств уменьшения вибрации.
2. Расчет (определение) динамических характеристик механизмов и средств виброизоляции. Проектирование промежуточных рамных конструкций агрегатированных установок.
3. Проектирование амортизирующих креплений установок и оборудования.

Для решения этой задачи используется алгоритм создания пространственных систем виброизоляции оборудования [4].

В первую очередь необходимо определить схему компоновки оборудования. Выбор схемы определяется объемом помещения и заданными значениями предельно допустимых уровней вибрации и динамических сил, действующих на фундаменты.

Далее выполняется разработка схемы вибрационной защиты судового оборудования. При индивидуальном упругом креплении механизмов виброизолирующее крепление выбирают из необходимости получения заданных предельно допустимых значений по вибрации фундамента и действующей на него динамической силы. В результате расчета определяют допустимые значения механических сопротивлений элементов виброизоляции. Используя эти значения, определяют вибрационные жесткости виброизолирующего крепления в области низких частот, значения собственных

частот колебаний механизма как твердого тела, а также частоты упругого деформирования виброизоляции. Далее приступают к выбору номенклатуры существующих виброизоляторов и проектированию виброизолирующих креплений с выбором количества виброизоляторов и собственной частоты колебаний механизма.

Для упругого крепления механизмов на общей несущей раме определяют параметры систем виброизоляции отдельных механизмов и агрегатированной установки в целом, параметров несущей рамы и средств демпфирования, применение которых позволит обеспечить допустимые значения динамических сил, действующих на фундаментные конструкции и вибрации фундамента установки.

Определяют параметры средств виброизоляции трубопроводов (гибких вставок и подвесок), применение которых позволит обеспечить допустимые значения: суммарных квадратичных динамических сил, действующих на фундаментные конструкции через подвески трубопровода и среднеквадратичные вибрации фундамента под подвесками.

Для агрегатированных установок определяют основные размеры несущей рамы установки, координаты расположения механизмов на раме и значения входных эффективных механических сопротивлений рамы под виброизоляторами и подвесками.

После этого производят контрольные расчеты ожидаемой вибрации фундаментных конструкций судна, обусловленной передачей колебаний от работающих механизмов через опорную виброизоляцию установки и внешние сходы систем трубопроводов.

Следующим этапом является проектирование амортизирующего крепления с обеспечением основных требований по работоспособности в реальных условиях эксплуатации судов. Для этого, с использованием специально созданного программного комплекса [5], выполняется расчет работоспособности амортизирующего крепления механизмов и оборудования. В результате выполнения расчета определяются:

1. относительные перемещения оборудования и деформации амортизирующих конструкций, вызванные статическими наклонениями судна, а также возникающие вследствие рабочих процессов в оборудовании (крутящий момент на валу, распорные усилия в трубопроводах и т.п.) — в задаче «Статика»;
2. относительные перемещения оборудования и деформации амортизирующих конструкций, возникающие при качке судна — в задаче «Качка»;
3. собственные частоты и формы колебаний оборудования на амортизирующих конструкциях — в задаче «Собственные частоты и формы»;
4. амплитуды перемещений и ускорений оборудования, а также амплитуды деформации амортизирующих конструкций вследствие передачи обо-

рудованию кинематического гармонического воздействия со стороны фундаментных конструкций, вызванного ходовой или лопастной вибрацией судна — в задаче «Виброзащита»;

5. максимальные относительные перемещения и абсолютные ускорения произвольных точек оборудования и деформации амортизирующих конструкций, вызванные ударным воздействием со стороны фундаментных конструкций судна вследствие столкновений судов, посадки на мель и т.п. — в задаче «Удар».

Для проверки результатов расчетных работ по созданию виброакустической защиты судового оборудования целесообразно использовать метод масштабного моделирования с последующими экспериментальными исследованиями эффективности принятых технических решений на специально созданных масштабных моделях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание виброакустической защиты судового оборудования, которая обеспечивает заданные требования к вибрационным и акустическим характеристикам судна (задача эффективности виброакустической защиты), исключает доминирование какого-либо из путей передачи колебаний от оборудования (задача равнопрочности виброакустической защиты) и обеспечивает функционирование средств виброакустической защиты в процессе эксплуатации судна (задача работоспособности виброакустической защиты) возможно только за счет совместного применения расчетных и экспериментальных методов.

При этом необходимо учитывать потоки колебательной энергии, распространяющиеся от источников через опорные и неопорные связи, а также в виде воздушного и гидродинамического шума.

- [1] Попков В. И., Попков С. В. Колебания механизмов и конструкций. С-Пб.: Сударыня, 2009.
[2] Popkov S. V. Using Vibration Energy Parameter in Solving Habitability and Environmental Safety Problems of Ships. Symposium on Green Ship Technology, Greenship 2011, Wuxi, China, 2011.
[3] Bezyazychny V. V., Bolshakov A. I., Kuznetsov N. A., Popkov S. V., Smolnikov Yu. S., Sokolov A. N. Active vibration damping in piping systems. 8th Int. Conf. «Navy and Shipbuilding Nowadays» NSN'2015, St.-Petersburg, Russia, 2015.

- [4] Bolshakova A. V., Kuznetsov N. A., Popkov S. V., Samoylov A. O. Development of 3d vibration-insulation systems for equipment of marine structures. 8th Int. Conf. «Navy and Shipbuilding Nowadays» NSN'2015, St.-Petersburg, Russia, 2015.
[5] Самойлов А. О., Кузнецов Н. А. Программа расчета упругого крепления оборудования, SANDI_CALC, версия 4.0. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011617564. ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», Санкт-Петербург, 28.09.2011.

Technology for development of vibration and acoustic protection of ship equipment as a combination of experimental and analytical methods

S. V. Popkov

Krylov State Research Centre. St.-Petersburg, 196158, Russia
E-mail: krylov6@krylov.spb.ru

In the development of vibroacoustic protection measures for shipboard equipment it is required to take into account oscillatory energy flows propagating from sources as air-borne noise via supports and non-supporting structures. The paper suggests a list of analytical methods to be used in the development of vibroacoustic protection. Vibroacoustic parameters of equipment and dynamic characteristics of vibroacoustic protection tools that have to be determined experimentally on suitable test facilities are identified.

PACS: 43.40.+s; 43.50.+y

Keywords: vibration, airborne noise, hydrodynamic noise, dynamic force, oscillation power, vibroisolation, sound insulation.

Received 10 July 2017.

Сведения об авторе

Попков Сергей Владимирович — доктор техн. наук, ст. науч. сотрудник, зам. начальника отделения, нач. лаборатории;
e-mail: krylov6@krylov.spb.ru.