

В. Ю. Кирпичников, Д. В. Ляпунов, В. В. Савенко

ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова

Россия, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, e-mail: editor@ejta.org

Влияние резонансных явлений в корпусе, во внутрикорпусных конструкциях и в воздушном объеме помещения судна на уровни звуковых давлений в окружающей водной среде

Получена 07.02.2007, опубликована 01.03.2007

Проанализированы результаты экспериментальных исследований влияния резонансных явлений в корпусе и внутрикорпусных конструкциях крупномасштабного макета судна, а также в воздушном объеме его помещений на уровни звукового давления в окружающей водной среде. Показана необходимость учета этих явлений при разработке мер по уменьшению уровней шумового поля судна от работы виброактивного и шумящего оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

Из физических соображений понятно, что возникновение резонансных явлений в корпусе судна и в его внутрикорпусных конструкциях при воздействии на них динамических усилий со стороны оборудования может привести к повышенным уровням вибраций корпуса и звуковых давлений в воде, характеризующих шумовое поле судна. Однако данному вопросу до настоящего времени уделялось мало внимания. Причиной этого являлось практическое отсутствие ярко выраженных максимумов резонансной природы в третьоктавных спектрах звуковых давлений в воде, формируемых корпусом под воздействием судового оборудования. Вместе с тем, анализ узкополосных спектров измеренных уровней вибраций и звуковых давлений показал, что возникновение резонансов в фундаментах или других внутрикорпусных конструкциях даже под оборудованием малой мощности (вентиляторами, насосами и т.п.) приводит к заметному повышению этих уровней. Эксперименты с использованием лабораторных и крупномасштабных моделей и макетов судов свидетельствовали, что на собственных частотах упругих колебаний участка корпуса в пределах определенного помещения уровни звукового давления в воде, создаваемого источником динамической силы с одной и той же амплитудой и ориентацией относительно возбуждаемой поверхности, зависят от места нахождения источника. Аналогичные результаты были получены и на плавающих судах.

Кажущееся противоречие между приведенными результатами и мнением о малом влиянии на шумовое поле судна резонансных явлений в корпусе (его элементах) и во внутрикорпусных конструкциях при их возбуждении оборудованием объясняется, в частности, сложностью выявления негативного влияния резонансных колебаний или шумоизлучения отдельной конструкции на суммарный шумовой сигнал при его формировании большим числом конструкций (в том числе, имеющих и близкие собственные частоты колебаний) и многочисленностью одновременно работающего оборудования. Ввиду частотной широкополосности сил, действующих со стороны оборудования на конструкции, имеющие достаточно большие потери колебательной энергии, четко выраженных собственно резонансных явлений, под которыми понимают совпадение частоты силы и собственной частоты колебаний возбуждаемой ею конструкции, может не возникать. Однако на собственных частотах колебаний корпусной или внутрикорпусной конструкции (в дальнейшем такие колебания условно будем называть резонансными) при ее возбуждении силой уровень шумоизлучения всегда оказывается больше, чем в случаях возбуждения конструкции силой с такой же амплитудой, но с другой частотой.

Можно предположить, что аналогичным образом повышенные уровни звуковых давлений в воде возникают при действии на корпус и внутрикорпусные конструкции не только усилий, передаваемых через опорные и неопорные связи оборудования, но и при действии на них звукового поля (воздушного шума) в помещениях судна. Во всех случаях возбуждения уровни звуковых давлений в воде могут возрастать при возникновении резонансных явлений в пределах как конструкции (в участке корпуса судна в пределах помещения, в переборке, настиле), так и ее отдельных участков (шпаций корпуса или «ячеек» переборок и настилов между соседними подкреплениями). Понятно, что резонансные колебания протяженной конструкции и ее отдельных участков в общем случае возникают на разных частотах. Следовательно, влияние рассматриваемых резонансных явлений на шумовое поле судна проявляется в разных диапазонах частотного спектра. Какова относительная роль этих явлений в формировании шумового поля, как влияют особенности вибровозбуждаемой и вибропроводящих конструкций и их отдельных участков, например месторасположения последних относительно корпуса судна, на уровни создаваемого корпусом звуковых давлений в воде — эти и ряд других вопросов, имеющих большой практический интерес, до настоящего времени целенаправленно не исследовались.

В настоящей работе представлены результаты комплексных экспериментальных исследований, целью которых являлось изучение некоторых аспектов влияния резонансных колебаний в корпусе и внутрикорпусных конструкциях, а также в воздушном объеме помещений судна на уровни звуковых давлений, определяющих шумовое поле в воде. Исследования выполнялись в морских условиях с использованием крупномасштабного макета корпуса судна, имеющего внутренние переборки и настилы.

1. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Возбуждение сосредоточенной силой

Сначала обратимся к результатам измерения уровней звуковых давлений в воде и вибраций, соответствующим случаю возбуждения корпуса и внутрикорпусных конструкций сосредоточенной силой — аналогом отдельного динамического усилия, действующего на конструкцию со стороны виброактивного оборудования. Отметим, что при проведении этих измерений направление действия силы совпадало с направлением нормали к поверхности возбуждаемой конструкции.

Типичные узкополосные частотные спектры уровней звуковых давлений в воде и уровней вибраций в точке возбуждения конструкций, нормированных величиной возбуждающей силы, приведены на рис. 1–13.

Рис. 1–3 соответствуют случаю приложения силы непосредственно к корпусу крупномасштабного макета судна.

Обращаясь к рис. 1–2, где стрелками показаны идентифицированные измерениями и расчетом собственные частоты изгибных колебаний возбуждаемого участка корпуса, видим, что:

- на собственных частотах участка корпуса уровни давления, измеренные при его возбуждении в середине помещения, на величину до ~ 15 дБ превышают соответствующие уровни звукового давления в воде, измеренные при возбуждении корпуса у переборки; величины указанного превышения у испытанных моделей были различными и, как было установлено, уменьшались с ростом потерь колебательной энергии в возбуждаемом участке макета корпуса судна;
- форма спектра звукового давления в воде, при возбуждении сосредоточенной силой в середине помещения, близка к форме спектра вибрации, характеризующего входную проводимость корпуса.

На рис. 3 приведены спектры звукового давления при возбуждении корпуса макета судна силой, которая прикладывалась к середине шпации и у ограничивающего ее шпангоута. Из рисунка видно, что уровни давления на низших резонансных частотах шпации (показанных стрелками), при ее возбуждении в районе пучности соответствующих форм колебаний, на величину до 10 дБ превосходят уровни звукового давления, возникающего при возбуждении корпуса рядом со шпангоутом.

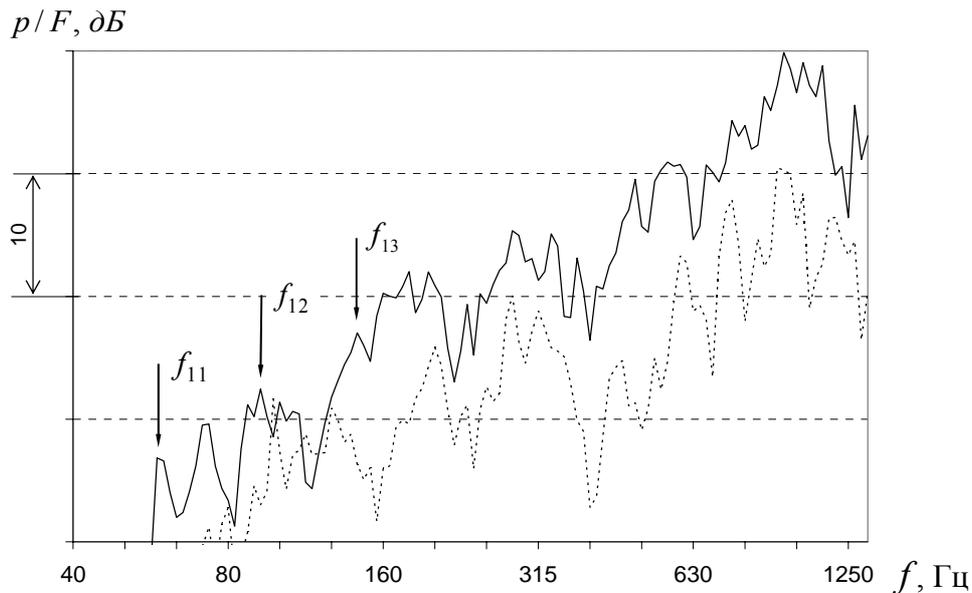


Рис. 1. Нормированные уровни звукового давления при возбуждении корпуса крупномасштабной модели судна в середине помещения (—) и у поперечной переборки (---).

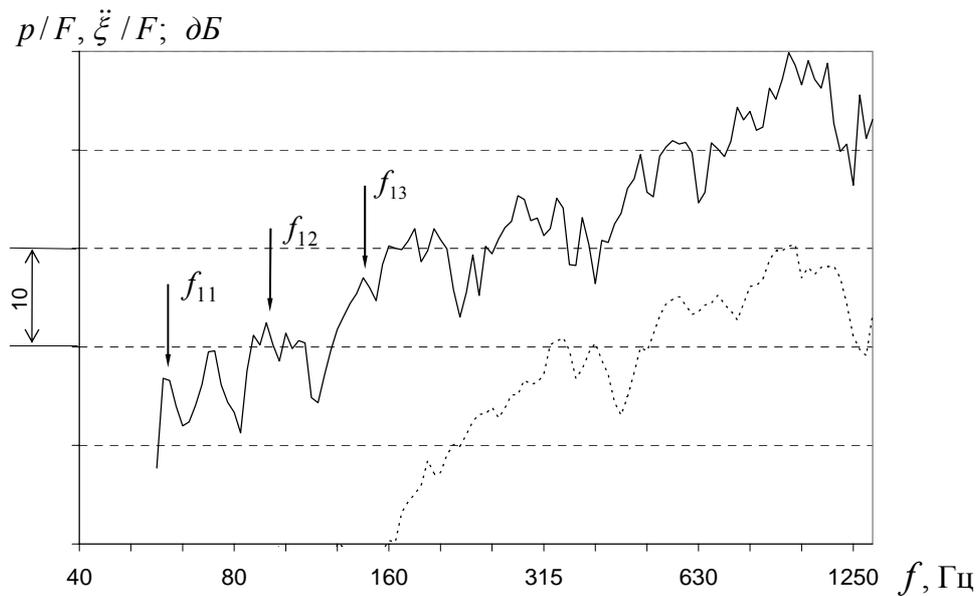


Рис. 2. Нормированные уровни звукового давления (—) и вибрации в точке возбуждения (---) корпуса крупномасштабной модели судна, расположенной в середине помещения

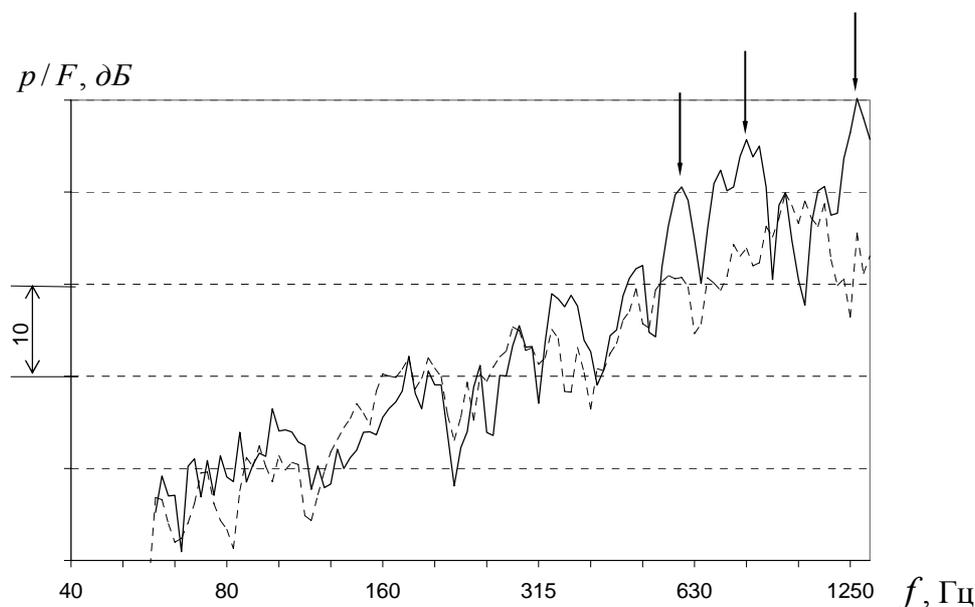


Рис. 3. Нормированные уровни звукового давления при возбуждении в середину шпации (—) и у ограничивающего ее шпангоута (---)

Рис. 4–8 соответствуют случаю возбуждения сосредоточенной силой поперечной переборки корпуса крупномасштабного макета судна. На первом из них изображены спектры звукового давления в воде, измеренные вблизи корпуса макета при возбуждении переборки вблизи ее центра и вблизи ее соединения с корпусом судна. Сравнение приведенных спектров показало, что, как правило, уровни звукового давления при возбуждении в центре переборки больше соответствующих уровней, измеренных при возбуждении участка переборки, примыкающего к корпусу, особенно на собственных частотах переборки, пучности форм изгибных колебаний которых находятся в районе ее геометрического центра (85 Гц, 150 Гц, 270 Гц, 340 Гц и т.д.).

На рис. 5 приведена зависимость уровней звукового давления на низшей резонансной частоте переборки от расстояния источника силы до корпуса. Из рисунка видно уменьшение уровней шума с приближением точки действия силы на переборку к любому борту макета судна, в том числе и к борту, напротив которого размещалась точка измерения уровней шума. Аналогичные зависимости с наибольшими уровнями излучаемого звукового давления — при приложении силы к переборке в зоне пучностей ее изгибных колебаний, и с наименьшими — при возбуждении переборки в узлах колебаний, были получены и на более высоких резонансных частотах. Показанные на рис. 6 узкополосные спектры уровней звукового давления и вибраций, измеренных в районе геометрического центра переборки, где приложена сосредоточенная сила, вблизи резонансных частот переборки оказались подобными. В обоих спектрах на указанных собственных частотах переборки наблюдаются максимумы.

Подобно резонансам переборки в целом могут возникать и резонансы ее элементов. На рис. 7 приведены спектры звукового давления в воде, измеренные при возбуждении «ячейки» переборки (участка, ограниченного соседними подкреплениями). Спектры соответствуют последовательному приложению силы вблизи геометрического центра «ячейки», расположенной в середине переборки, и к углу «ячейки» (рядом с узлом пересечения элементов подкрепляющего переборку набора). В первом случае сила действовала в зоне наименьшего, а во втором — наибольшего механического сопротивления возбуждаемого участка переборки. Стрелочками на рис. 7 показаны резонансные частоты изгибных колебаний прямоугольной «ячейки» с пучностями низших форм, расположенными вблизи ее геометрического центра. Видно, что на указанных частотах более высокие уровни звукового давления имеют место, когда сила приложена в центре «ячейки». Отметим, что уровни шума на этих частотах много больше уровней на резонансных частотах переборки в целом.

Сравнение спектра звукового давления со спектром вибрации, измеренной в точке ее возбуждения, расположенной вблизи геометрического центра «ячейки», подтвердило, что максимумы в спектре давления проявляются, в том числе, на тех же частотах, что и максимумы в спектре вибраций (рис. 8). Было подтверждено, что эти частоты являются резонансными частотами низших форм изгибных колебаний «ячейки».

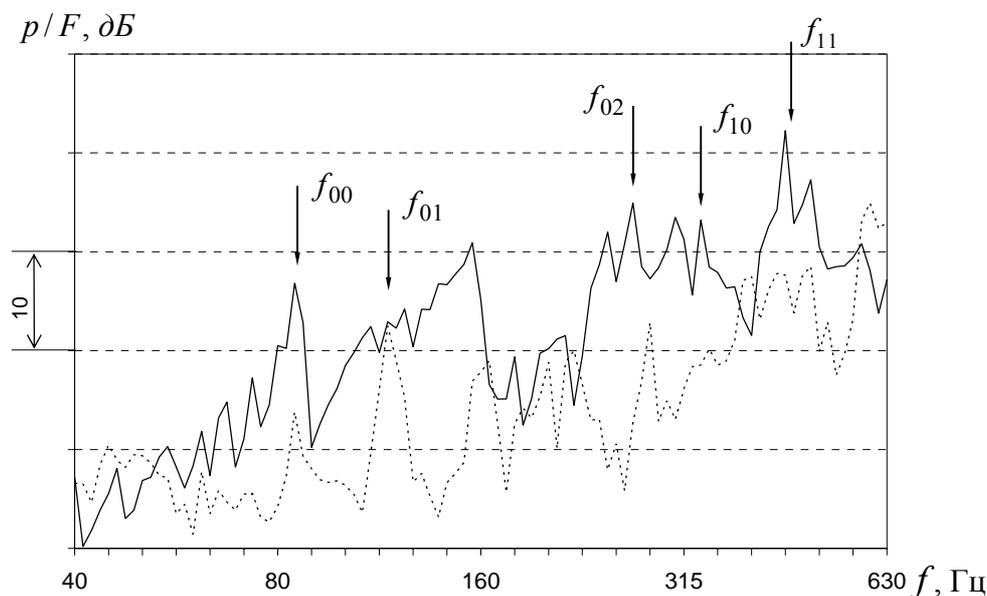


Рис. 4. Нормированные уровни звукового давления при возбуждении поперечной переборки крупномасштабной модели судна в районе ее геометрического центра (—) и вблизи корпуса (- - -)

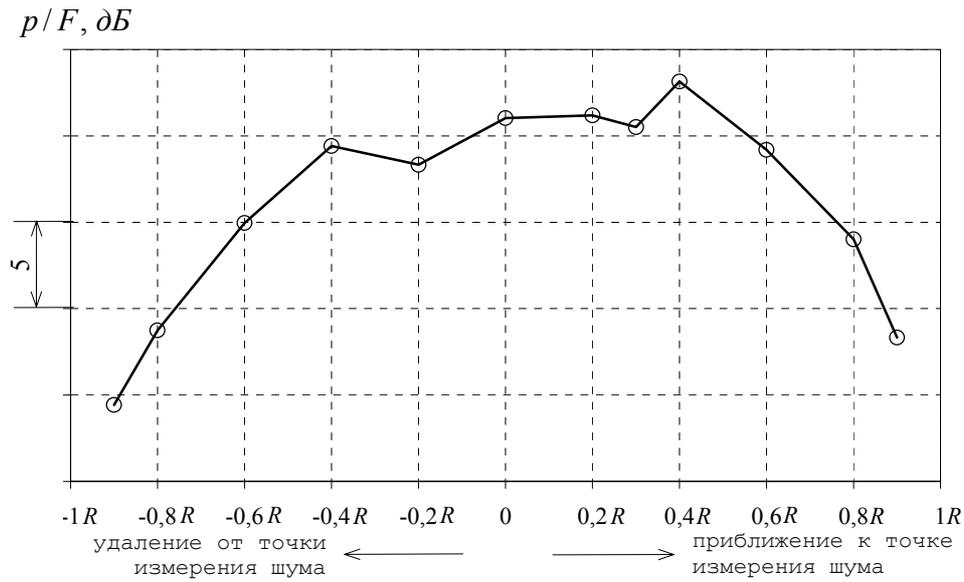


Рис. 5. Зависимость уровней звукового давления на низшей резонансной частоте переборки от расстояния источника силы до корпуса

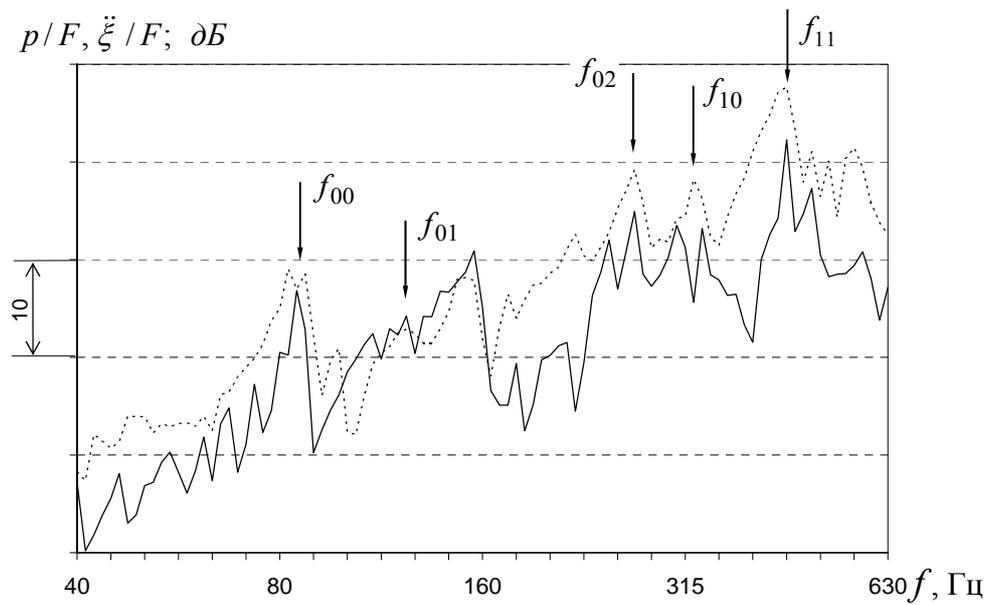


Рис. 6. Нормированные уровни звукового давления (—) и вибрации в точке возбуждения (---) поперечной переборки силой, приложенной к ее геометрическому центру

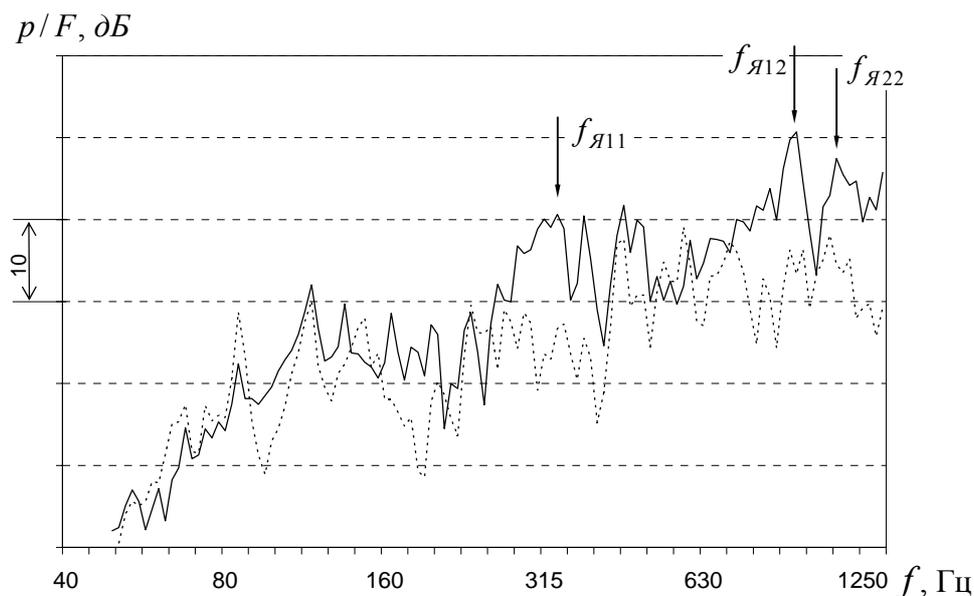


Рис. 7. Нормированные уровни звукового давления при возбуждении «ячейки» переборки вблизи ее геометрического центра (—) и у ее кромки (---)

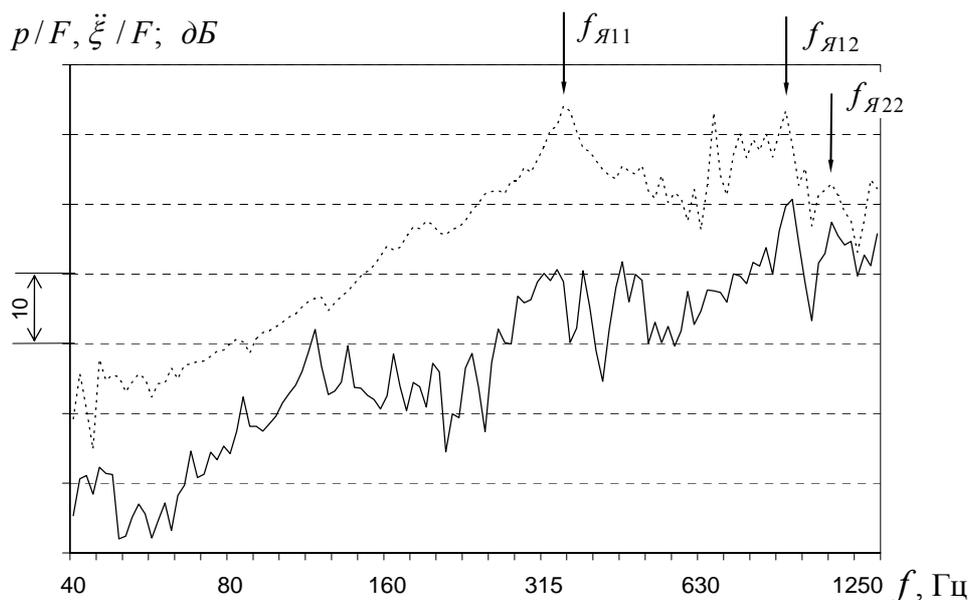


Рис. 8. Нормированные уровни звукового давления (—) и вибрации в точке возбуждения (---) «ячейки» переборки силой, приложенной к ее центру

Рис. 9–13 соответствуют случаю динамического возбуждения сосредоточенной силой настила в корпусе крупномасштабного макета судна. Анализ приведенных на этих рисунках спектров звуковых давлений в воде и вибраций подтверждает все ранее сделанные выводы о влиянии резонансных явлений во внутрикорпусной конструкции (или в ее «ячейке») на формирование уровней звукового давления корпусом макета судна.

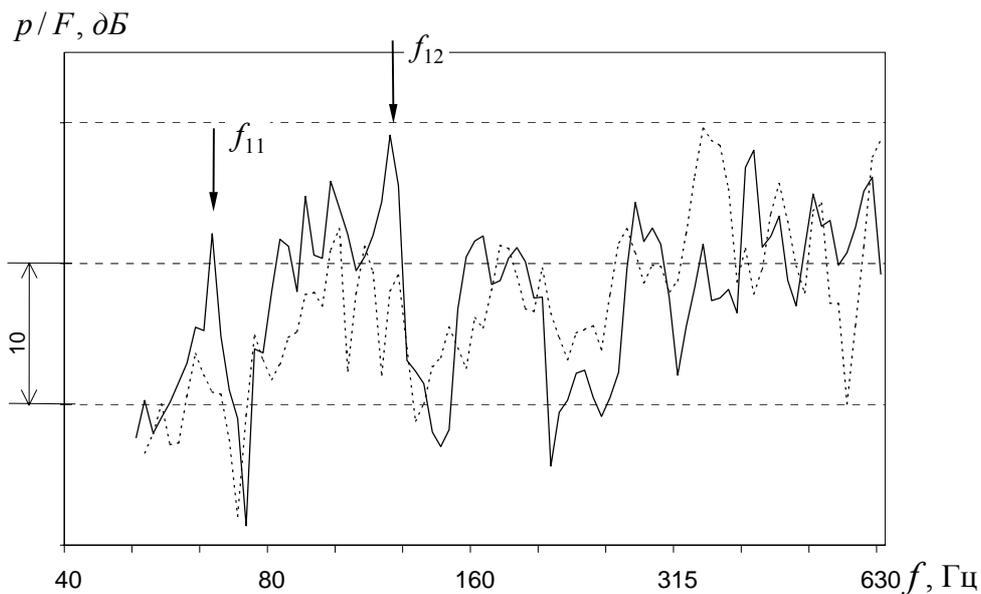


Рис. 9. Нормированные уровни звукового давления при возбуждении настила крупномасштабной модели в центре (—) и у корпуса судна (---)

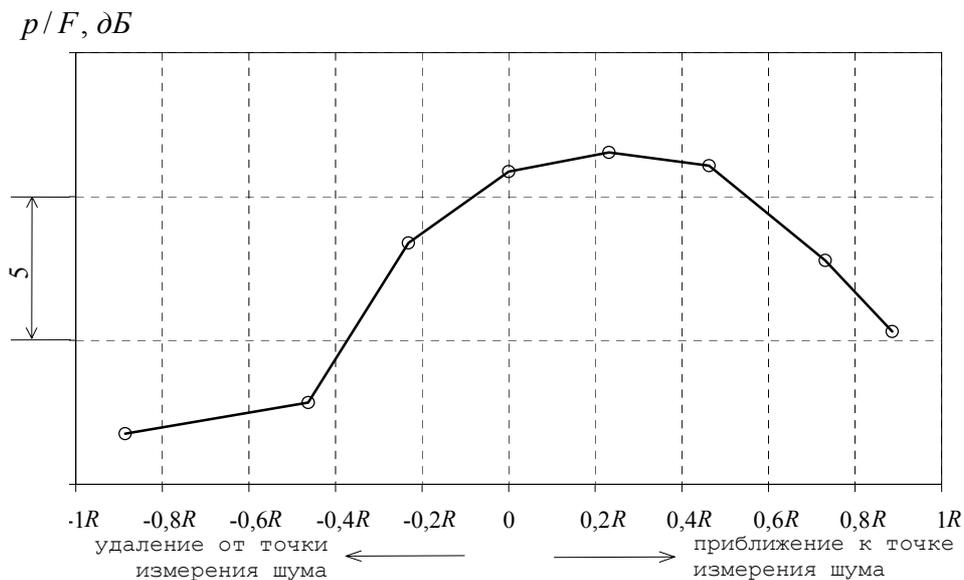


Рис. 10. Зависимость уровней звукового давления на низшей резонансной частоте изгибных колебаний настила от расстояния источника силы до корпуса

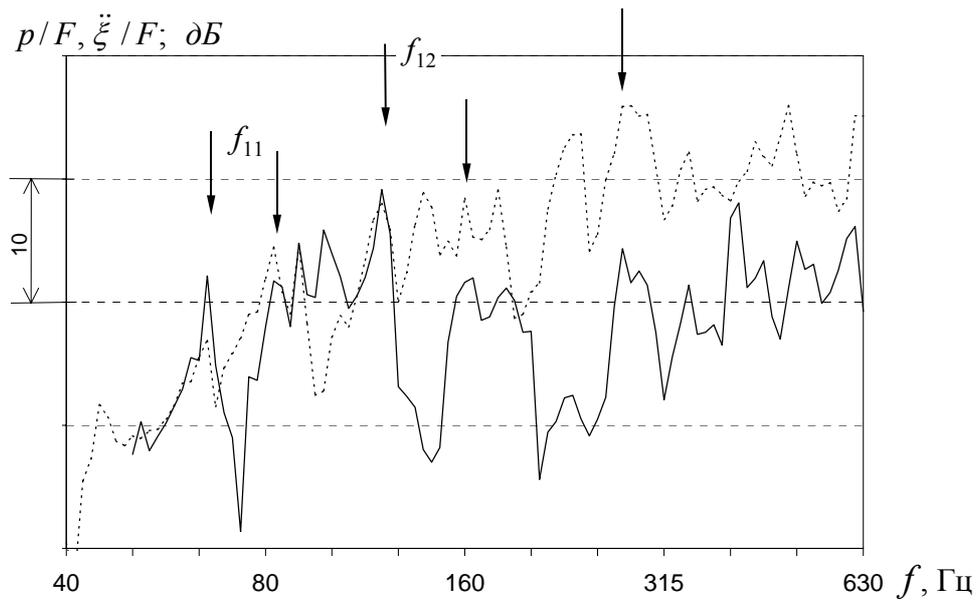


Рис. 11. Нормированные уровни звукового давления (—) и вибрации в точке возбуждения (---) настила сосредоточенной силой в его центре

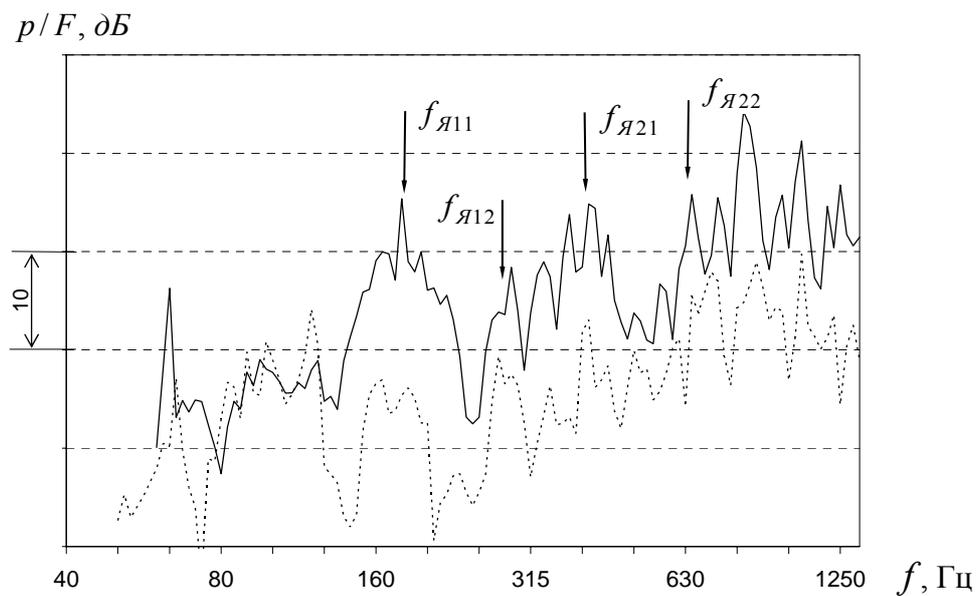


Рис. 12. Нормированные уровни звукового давления при возбуждении «ячейки» настила в районе ее геометрического центра (—) и у ее кромки (---)

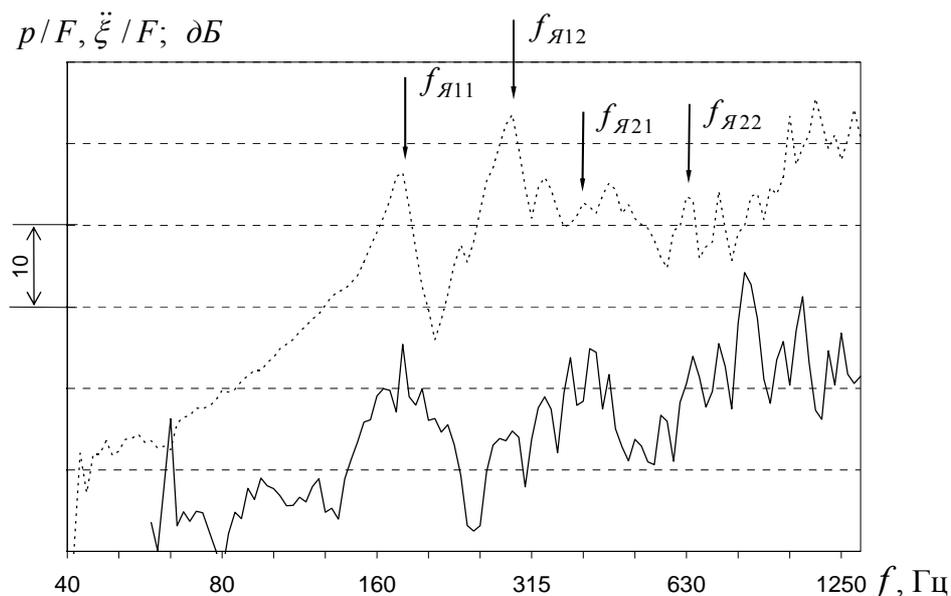


Рис. 13. Нормированные уровни звукового давления (—) и вибрации (---) в точке возбуждения «ячейки» настила в районе ее геометрического центра

1.2. Возбуждение воздушным шумом

Аналогичные вышеуказанным выводы были сделаны и по результатам исследований формирования вибраций конструкций и звуковых давлений в воде воздушным шумом в помещениях судна. Приведем основные результаты, полученные на крупномасштабном макете судна.

При возбуждении источником воздушного шума (громкоговорителем), подвешенным в помещении, в узкополосных спектрах звукового давления в воде были обнаружены максимумы на частотах, соответствующих резонансным частотам воздушного объема озвучиваемого помещения. Такого рода максимумы в узкополосных спектрах звуковых давлений в воздухе и воде обозначены на рис. 14 сплошными стрелочками. Кроме них в спектре звукового давления в воде наблюдались максимумы, происхождение которых предположительно может быть связано с резонансными колебаниями корпуса и внутрикорпусных конструкций, находящихся в помещении (пунктирные стрелочки на том же рисунке). Отметим, что представленный спектр звукового давления в воде был получен при расположении источника воздушного шума вдали от настила – наиболее протяженной и наименее жесткой внутрикорпусной конструкции.

Приближение источника воздушного шума к настилу привело к более заметному влиянию резонансных явлений, возникающих при его изгибных колебаниях, на уровни звуковых давлений в воде. В качестве примера на рис. 15 приведены спектры звукового давления в воде и вибраций «ячейки» настила (участка между подкреплениями), геометрический центр которой находился на оси источника воздушного шума. Видим,

что ряд максимумов в этих спектрах наблюдается на одинаковых частотах (отмечены стрелочками), соответствующих резонансам «ячейки». Выполненные измерения подтвердили, что появление указанных максимумов связано с резонансными явлениями в близлежащей к источнику шума «ячейке» настила.

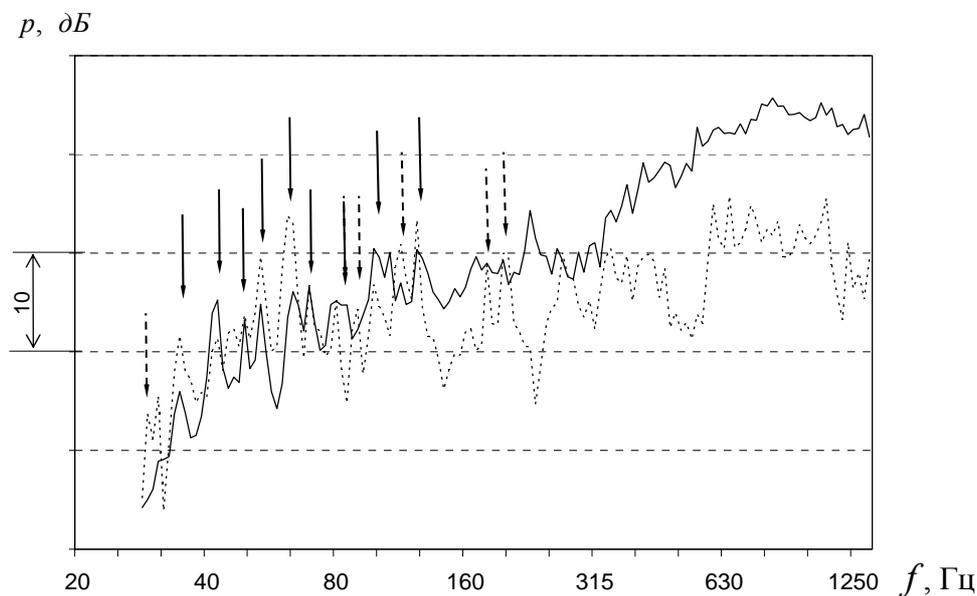


Рис. 14. Спектры воздушного шума (—) в помещении судна и звукового давления в воде (---)

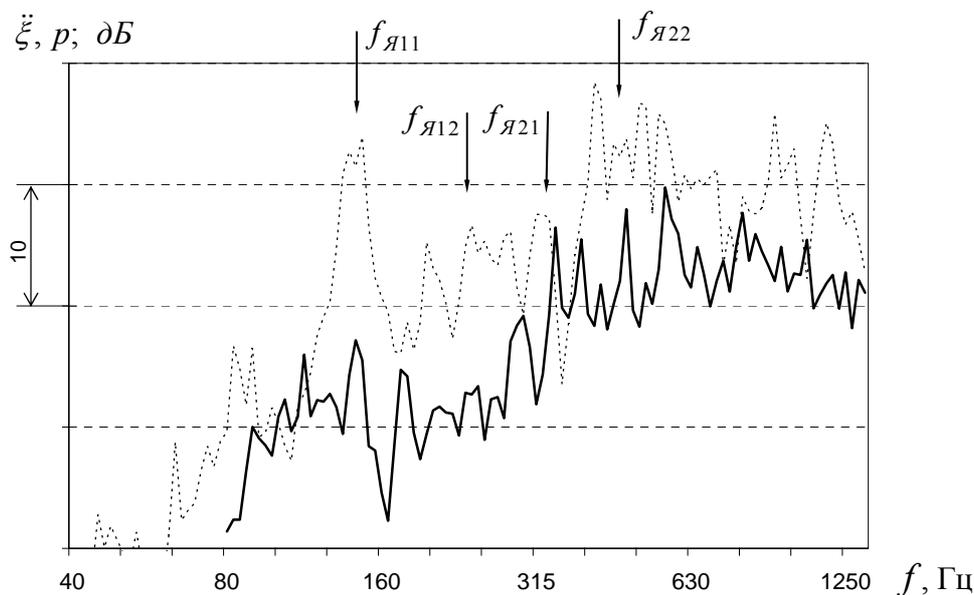


Рис. 15. Спектры звукового давления в воде (—) и вибраций «ячейки» настила (---), геометрический центр которой находился на оси источника воздушного шума

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований подтверждают возникновение повышенных уровней звуковых давлений в воде, обусловленных излучением корпуса судна при возникновении в нем и его элементах резонансных явлений. Это подтверждает необходимость учитывать резонансные явления в корпусных конструкциях и воздушном объеме помещений при разработке рекомендаций по уменьшению уровней шумового поля в окружающей водной среде, обусловленного работой виброактивного и шумящего судового оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ю. Кирпичников, Д. В. Ляпунов, В. В. Савенко. О влиянии резонансных явлений во внутренних конструкциях на вибрации и звукоизлучение корпуса транспортного средства. Труды 2-го международного симпозиума «Шум и вибрация на транспорте», 1994.