

УДК: 534.21  
OECD: 01.03.AA

## Структурный шум на производстве, выявление вклада и методы снижения

Кузнецова А.Д.

Ассистент кафедры гидрофизических средств поиска, Государственного морского технического университета, г. Санкт-Петербург, РФ

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы оценки вклада звукоизлучения (структурной составляющей шума) металлическими корпусами технологического оборудования в акустическую обстановку на селитебных территориях и территориях предприятий, а также в цехах производств. Такая оценка позволяет впоследствии разработать более эффективные виброзащитные мероприятия, которые в свою очередь снизят шум на нормируемых объектах.

Проведены измерения шума и вибраций от оборудования на местах, в которых обязательно соблюдение гигиенических нормативов, в том числе на рабочих местах и на селитебной территории. Представлен анализ результатов для двух производственных объектов, на основании которого установлено наличие значимого вклада структурного шума, применяемого в технологических процессах оборудования.

Выполнены расчет уровней структурного шума и последующее сопоставление с данными натурных измерений, на основе полученных результатов предложены мероприятия для снижения шума рассматриваемых источников.

**Ключевые слова:** структурный шум, вибрация, санитарно-защитная зона, рабочие места, звукоизлучение.

### *Structural noise in production, contribution identification and mitigation methods*

*Kuznetsova A.D.*

*Assistant of the Department of hydrophysical search means, State marine technical University, St. Petersburg, Russia*

### **Abstract**

*The article deals with the assessment of the contribution of sound emission (the structural component of noise) by metal housings of technological equipment to the acoustic environment in residential areas and territories of enterprises, as well as in production workshops. This assessment allows us to subsequently develop more effective vibration protection measures, which in turn will reduce noise at normalized facilities.*

*Measurements of noise and vibration from equipment in places where compliance with hygiene standards is mandatory, including in workplaces and residential areas, were carried out. The analysis of the results for two production facilities is presented, on the basis of which the presence of a significant contribution of structural noise used in the technological processes of the equipment is established.*

*The structural noise levels were calculated and then compared with the data of field measurements. Based on the results obtained, measures were proposed to reduce the sources under consideration.*

**Keywords:** *structural noise, vibration, sanitary protection zone, workplaces, sound emission.*

## Введение

Известно, что для разработки эффективных шумозащитных мероприятий необходим подробный анализ акустической ситуации, в т.ч. выполнение натуральных измерений шума и вибрации, с последующим выявлением основных источников.

Нередки случаи, когда на нормируемых территориях, расположенных на границе санитарно-защитной зоны (далее – СЗЗ), основным источником, определяющим акустическую обстановку, является расположенное в непосредственной близости к границе технологическое оборудование.

В статье рассматриваются вопросы, относящиеся к определению вклада структурной составляющей в суммарный шум в нормируемых местах.

С определением шумовых характеристик оборудования и уровней шума на селитебных территориях или рабочих местах особых сложностей не возникает, в силу большого количества разработанных и действующих методик измерений. Но при разработке мероприятий, направленных на снижение суммарного шума, необходимо выявление вклада отдельных единиц оборудования и их составляющих, в частности структурного шума (звуковой вибрации).

На сегодняшний день отсутствует общепринятая утвержденная методика расчета звуковой вибрации, позволяющая оценить структурный шум в нормируемом диапазоне частот с 31,5 Гц до 8 кГц.

В ГОСТ Р ЕН 12354-5-2012 [1] задача оценки структурного шума решается частично: «...предполагается, что вся инженерно-техническая система может быть разделена на несколько источников воздушного и структурного шума, которые можно считать независимыми друг от друга. Особенно остро отсутствие методов проявляется для структурных шумов» [1].

В этом документе предложен расчет структурной звукопередачи (вторичные эффекты вибрационного воздействия) от оборудования, при условии наличия исходных вибрационных характеристик установленного механизма, только для строительных конструкций, что исключает возможность использования данной методики при расчете распространения звукоизлучения на территориях.

Известно, что вопросы звукоизлучения металлических конструкций, хорошо изучены в судостроении, и логично было предположить применимость этих методов для других инженерных объектов со схожими конструктивными особенностями. Ранее аналогичный подход при определении структурной составляющей был применен для автодорожных эстакад и показал удовлетворительное схождение с результатами натуральных измерений [2].

Ниже представлен анализ вклада структурного шума от технологического оборудования в суммарные уровни на селитебных территориях и рабочих местах.

### 1. Вклад структурного шума в суммарные уровни звука на границе СЗЗ

На рисунке 1 приведены результаты измерений уровней звукового давления (далее УЗД) на границе санитарно-защитной зоны предприятия по деревообработке.

С учетом круглосуточного режима работы предприятия, согласно таблице 5.35 СанПиН 1.2.3685-21 [3], нормативный уровень звука на границе санитарно-защитной зоны для ночного времени суток равен 45 дБА.

Анализ результатов измерений показал, что определяющими источниками шума в рассматриваемой точке на границе СЗЗ является работа циклона котельной и работа линии загрузки и сортировки бревен. В основу анализа заложено сопоставление

измеренных уровней звука на границе СЗЗ с расчетными значениями шума отдельных единиц оборудования, полученных вблизи оборудования при отсутствии вклада других источников шума, которые приведены на этом же рисунке 1.

В низкочастотной области (40 Гц-50 Гц) видны превышения, которые связаны с ударами бревен о металлический корпус транспортера. На частотах 250 Гц и 630 Гц небольшое превышение связано с работой циклона котельной. Как показали контрольные измерения, уровни звука на границе СЗЗ составили 47-48 дБА и определялись УЗД в указанных областях частот в равной мере.

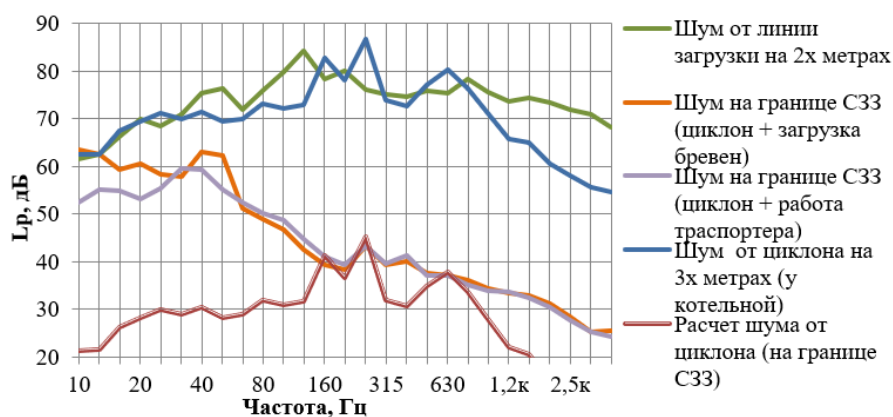


Рис. 1. Результаты измерений и расчета УЗД на границе СЗЗ и вблизи циклона и линии загрузки бревен

Расчет шума от работы циклона на границе СЗЗ с учетом затухания звука в атмосфере [4] полностью подтвердил слуховое восприятие вклада данного источника (результаты измерений и расчета на указанных частотах совпали с точностью до 1 дБ).

Снизить шум от низкорасположенного на производственной территории циклона не представляется сложной задачей. В качестве мероприятия была предложена установка «Г-образного» акустического экрана, высотой 4 м, перекрывающего путь звуковых лучей от корпуса циклона до нормируемой территории.

Сложнее обстоит дело со звукоизлучением корпуса приемной части линии сортировки бревен, т.к. установка акустических экранов вблизи линии невозможна из-за особенностей технологического процесса. Корпус линии состоит из протяженных стальных поддонов толщиной 10 мм (верхняя часть линии) и 3 мм (нижняя часть линии).

Был рассчитан структурный шум, излучаемый стальными стенками корпусной конструкции линии. В основу расчета заложено соотношение между величинами измеренных вибраций корпуса и параметрами его звукоизлучения, которые зависят от материала, толщины, площади излучаемой поверхности и относительного удлинения. За основу было принято выражение для акустической мощности источника звукоизлучения в виде закрепленной по краям пластины [5]:

$$L_w = N_v + 10lg(\gamma) + 10lg(S), \quad (1)$$

где  $N_v$  – уровень вибрации по скорости (относительно порога  $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  м/с), дБ;  $\gamma$  – коэффициент излучения (звукоизлучения);  $S$  – площадь конструкции, м<sup>2</sup>.

Параметр звукоизлучения является сложной функцией, зависящей от множества параметров (материал, толщина, габариты конструкции, наличие подкрепляющих ребер жесткости), и поэтому был определен по номограммам, представленным в книге Изаак Г.Д., Гомзиков Э.А. [6], т.к. основные параметры поддонов линии транспортировки

бревен соответствуют требованиям, предъявляемым к судостроительным корпусным конструкциям [7].

На рисунке 2 приведено сопоставление уровней звукового давления ( $L_p$ ) на расстоянии 10 м от линии, непосредственно измеренных, и рассчитанных как для протяженного источника шума по измеренным уровням виброскорости.

При измерении вибрации датчик крепился к корпусу линии посредством магнита с высокой коэрцитивной силой, поэтому результаты измерений достоверны в частотном диапазоне до 3 кГц.

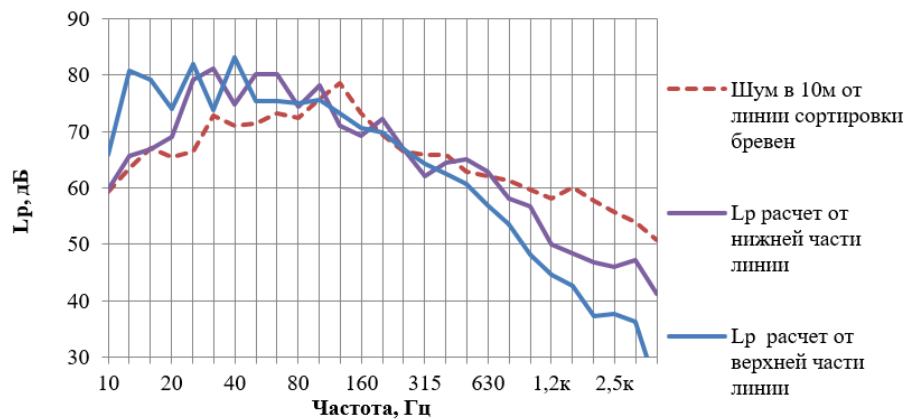


Рис. 2. Сопоставление расчетных и измеренных уровней шума вблизи линии

Видно удовлетворительное совпадение расчетных и измеренных уровней шума вблизи линии (на расстоянии 10 м) для звукоизлучения производимого нижней частью конструкции с 40 Гц до 500 Гц. Указанный частотный диапазон, как показано выше, соответствует вкладу шума данного оборудования в суммарный шум на границе СЗЗ.

Длина линии сортировки бревен 20 м, что согласно ГОСТ 31295.2-2005 [4] дает возможность рассматривать данный источник шума как точечный на расстояниях свыше 40 м. Расстояние до границы СЗЗ составляет 200 м, поэтому расчет структурного шума на границу от линии сортировки выполнен как от точечного источника.

На рисунке 3, где представлено сопоставление измеренных суммарных уровней шума и расчетных структурных уровней на границе СЗЗ, видно удовлетворительное совпадение указанных уровней шума.

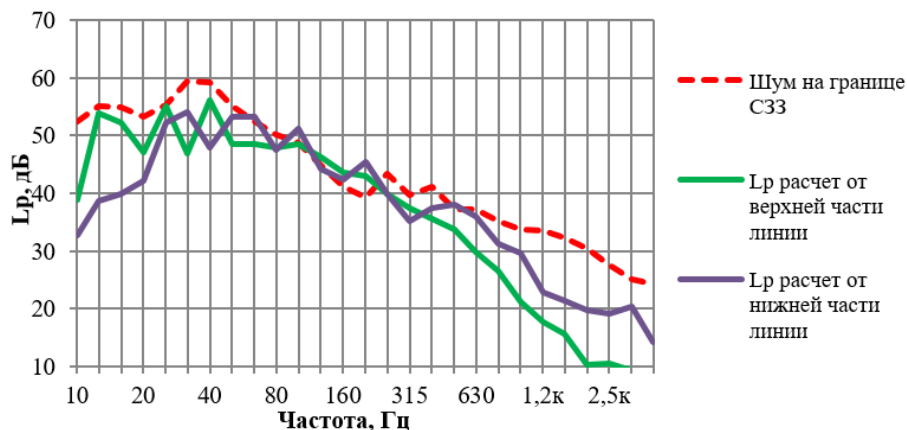


Рис. 3. Уровни шума от корпуса бункера загрузки бревен на границе СЗЗ

Таким образом, шум на границе СЗЗ в частотном диапазоне от 40 Гц до 160 Гц обусловлен структурным шумом, излучаемым корпусом линии транспортировки бревен при их ударах. Для снижения этого вида шума целесообразно использовать жесткие вибродемпфирующие покрытия, которые позволят снизить вибрацию на 2-3 дБ и тем самым обеспечить соблюдение нормативных значений шума на границе СЗЗ. Либо установить на поддон дополнительную конструкцию с жесткими мостиками, состоящую из звукопоглощающего материала с воздушным промежутком и пластины из листового материала, толщиной 12-20 мм. Эффективность такого мероприятия снизит звукоизлучение на 2-3 дБ.

## **2. Вклад структурного шума в суммарные уровни звука на рабочем месте цеха**

Существует ряд производств, где на рабочих местах определяющим является вклад структурной составляющей шума от работы технологического оборудования, в том числе систем вентиляции [8]. Для оценки указанного вклада была выполнена оценка уровня структурного шума по вышеизложенному подходу. Ниже приводится пример такой оценки для производства бумажных изделий хозяйственно-бытового назначения на рабочем месте, где основным источником является корпусный шум от работы вентиляторов.

На рисунке 4 представлены уровни шума на рабочем месте РМ1 и спектры виброускорений, измеренных на плоских поверхностях корпусов однотипных вентиляторов различной производительности. Рабочее место РМ1 расположено на рабочем мезонине, в непосредственной близости к корпусам трех вентиляторов.

При проведении измерений вибрации вибродатчик устанавливался в центральную часть корпуса в виде сектора и крепился посредством магнита (доверительный частотный диапазон измерений ограничен 3 кГц).

Ранее выполненный сопоставительный анализ уровней звука и скорректированных уровней звукового давления показал необходимость снижения шума в диапазоне 160 Гц-3 кГц. Следует отметить, что кроме вентиляторов на рабочем мезонине расположено другое шумящее технологическое оборудование.

На рисунке 4 представлены уровни виброускорения, измеренные на плоских поверхностях корпусов вентиляторов №1-№3, расположенных на рабочем мезонине, и уровни шума на рабочем месте (РМ1). На частотах 160 Гц и 500 Гц видны спектральные особенности («пики»), характерные как для шума на рабочем месте, так и для вибрации корпусов. Это говорит о возможном вкладе в акустическую обстановку на рабочем месте такого источника как излучение корпусов вентиляторов.

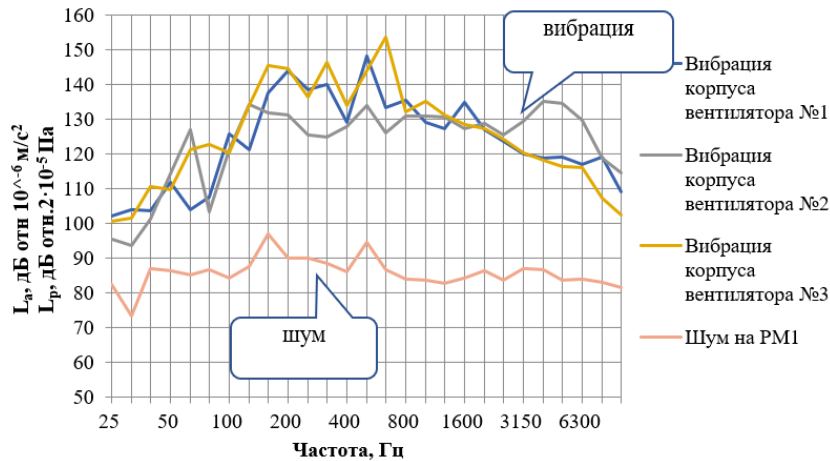


Рис. 4. Уровни виброускорения на корпусе вентиляторов и уровни шума на рабочем месте

Как и в случае с приемной частью линии сортировки бревен был рассчитан структурный шум, излучаемый металлическими стенками корпусов, с учетом двух излучающих поверхностей каждого из вентиляторов.

На рисунке 5 представлено сопоставление расчетных и измеренных уровней шума на рабочем месте РМ1.

Измеренные уровни шума на РМ1 и расчетные значения излучения вибрации корпусов показали схожую спектральную динамику. Таким образом, шум на рабочем месте в интересующем частотном диапазоне обусловлен структурным шумом, излучаемым корпусами вентиляторов.

Часто отсутствует возможность размещения звукоизолирующего кожуха, поэтому в качестве снижения звукоизлучения корпусов вентиляторов можно использовать жесткие вибродемпфирующие покрытия, толщиной равной двум толщинам демпфируемой конструкции, которые позволят снизить вибрацию на 3-5 дБ.

В качестве альтернативного мероприятия предлагается установить на корпус дополнительную конструкцию с жесткими мостиками, состоящую из звукопоглощающего материала с воздушным промежутком и пластины из листового материала, толщиной не менее 8 мм. Эффективность такого мероприятия снизит вибрацию корпуса на 4-6 дБ.

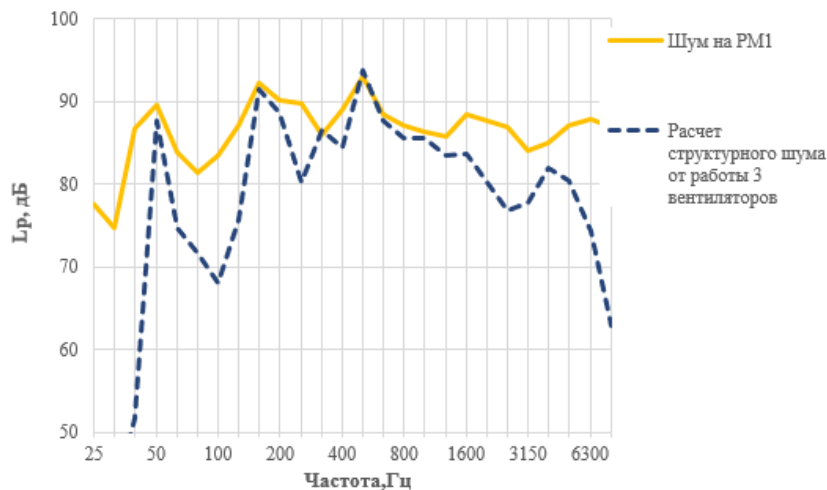


Рис. 5. Сопоставление расчетных и измеренных уровней шума на рабочем месте РМ1 от трех вентиляторов

## Заключение

Выполнены оценки вклада структурного шума производственного оборудования в суммарный шум на рабочих местах производственных помещений и на границе СЗЗ предприятия. В основу оценок заложены методы, применяемые в судостроении при расчетах внутреннего шума в судовых помещениях.

Показано, что в ряде случаев в частотном диапазоне до 500 Гц суммарный шум определяется звукоизлучением корпусных конструкций оборудования. Предложены варианты мероприятий по снижению указанного звукоизлучения за счет нанесения жесткого вибродемпфирующего покрытия или установки дополнительной «зашивки» на корпуса механизмов. Эффективность мероприятий в указанном частотном диапазоне может достигать 6 дБ, что в ряде случаев оказывается достаточно для соблюдения гигиенических нормативов.

## Список литературы

1. ГОСТ Р ЕН 12354-5-2012. Акустика зданий. Методы расчета акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Ч.5. Шум инженерного оборудования.
2. Кузнецова, А.Д. Вклад структурного шума при оценке шумовых характеристик автотранспортных магистралей / И.К.Пименов С.Б. Марков, Н.А. Дементьев // Защита от шума и вибрации: Сборник докладов 7-ой Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 10.
3. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
4. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета»
5. Бородицкий А.С., Спиридонов В.М. Снижение структурного звука в судовых помещениях. Л., Судостроение, 1978.
6. Изак Г.Д., Гомзиков Э.А. Шум на судах и методы его уменьшения. – М.: Транспорт, 1987. – 303 с.
7. Rules for Classification and Construction 1. Ship Technology. - 2012. - 298 p.
8. NVW Editorial Staff. Reducing noise from fans//Noisy & Vibration Worldwide. – 2018. - Vol. 49(1). – P. 11-13.

## References

1. EN 12354-5:2009. Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 5. Sound due to the service equipment.
2. Pimenov I.K., Markov S. B., Dementev N.A Kuznetsova A.D. Contribution of structural noise in the evaluation of noise characteristics of highways// Zashchita ot shuma i vibracii: Sbornik dokladov 7-oj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – 2019. – p.10.
3. SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya»
4. ISO 9613-2:1996 Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2. General method of calculation

- 
5. Borodickij A.S., Spiridonov V.M. Snizhenie strukturnogo zvuka v sudovyh pomeshcheniyah. L., Sudostroenie, 1978.
  6. Izak G.D., Gomzikov E.A. Shum na sudah i metody ego umen'sheniya. – M.: Transport, 1987. – p.303.
  7. Rules for Classification and Construction 1. Ship Technology. - 2012. - 298 p.
  8. NVW Editorial Staff. Reducing noise from fans//Noisy & Vibration Worldwide. – 2018. - Vol. 49(1). – P. 11-13.