

УДК 684.84

**Селиванов С.Е., Абракитов В.Э., Никитченко О.Ю., Фарина И.А.**

*Харьковский национальный университет им. Каразина  
Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ПОДОБИЕ ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ АКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕЛЯХ БОРЬБЫ С ШУМОМ**

Предложено усовершенствовать способ физического моделирования акустических процессов. Разработаны расчётные соотношения, позволяющие связать параметры модели и натурального объекта с неукоснительным соблюдением требований подобия.

**Ключевые слова:** константа, подобие, физическое моделирование, шум.

Запропоновано вдосконалити спосіб фізичного моделювання акустичних процесів. Розроблено розрахункові співвідношення, що дозволяють зв'язати параметри моделі й натурального об'єкта з неухильним дотриманням вимог подібності.

**Ключові слова:** константа, подібність, фізичне моделювання, шум.

It Is Offered to improve the way of physical modeling of the acoustic processes. It Is Designed accounting correlations, allowing the parameters to models and nature of the object with absolute observance of the requirements of the resemblance.

**Keywords:** constant, resemblance, physical modeling, noise

За последние десятилетие проблема борьбы с шумом во многих странах стала одной из важнейших. Внедрение в промышленность новых технологических процессов, рост мощности и быстроходности технологического оборудования, механизация производственных процессов привели к тому, что человек в производстве и в быту постоянно подвергается воздействию шума высоких уровней.

За определенный комфорт, удобства связи и передвижения, благоустройство быта и совершенствование производства современному человеку приходится платить. А платой тому является шум.

В настоящее время очень резко встаёт проблема моделирования процессов распространения звука на пути от источника к объекту, который требует защиты, - так как известно, что по всем известным критериям выгодно и удобно предусматривать, проектировать, конструировать и т.д. разнообразные шумозащитные мероприятия и средства именно на стадии проектирования (или реконструкции) объекту, пока он еще не существует в природе. Таким образом, остро встает проблема прогнозирования, картографирования, оценки шумового режима, возможности изучения эффекта variability разных шумозащитных средств и др.

Одним из путей решения этой проблемы является физическое моделирование. Оно осуществляется с помощью моделей, подобных к натуре, то есть подобные величины модели и природы имеют одинаковую физическую природу и одинаковое математическое описание. При этом сохраняются особенности натурального эксперимента, но облегчается получение результа-

тов, так как изначально выбраны удобные диапазоны измерения физического поля.

Относительно акустического моделирования с целью охраны работы и окружающей среды (вопросов борьбы с шумом), осуществляется 2 разновидности моделирования: моделирование процессов излучения (то есть моделирование источников звука), и моделирование процессов распространения звука [1].

Известен способ достижения подобия при физическом моделировании акустических процессов, соответственно которого при этом выдвигаются следующие требования подобия [2]:

1. Геометрическое подобие модели натуре (что достигается путем изготовления уменьшенной или увеличенной в  $c$  раз модели, которая сохраняет особенности, расположение, конфигурацию и т.п. признака элементов, подобных натурным, (где  $c = n : 1; \dots; 2:1; 1:1; 1:2; \dots; 1: n$ )- масштаб линейных размеров).

Линейные размеры модели  $L_m$  связанные с линейными размерами природы  $L_n$  соотношением

$$L_m = c \cdot L_n \quad (1)$$

где  $c$  - константа подобия, которое уже использовалась выше.

2. Соблюдение равенства отношений линейных размеров  $L$  к длине волны  $\lambda$  в модели (индекс  $m$ ) и в натуре (индекс  $n$ ) (что достигается путем изменения длины волны  $\lambda_m$  и частоты  $f_m$  звука в модели относительно натуральных  $\lambda_n$  и  $f_n$ ) при равенстве скорости распространения звука в модели  $c_m$  и натуре  $c_n$ . То есть, при построении такой модели молча считаем, что звук в модели распространяется с такой же скоростью, как и в натуре. Требования подобия приведен в соответствии с [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_m = c \lambda_n, \text{ м} \\ f_m = f_n / c_L, \text{ Гц} \\ c_m = c_n, \text{ м/с} \end{array} \right. \quad (2)$$

В общем случае условия (2) не совсем корректны. Они действуют только лишь при наличии последнего, третьего пункта из выше упомянутой системы уравнений. На самом деле, для моделирования явления дифракции необходимо соблюсти подобия отношений линейных размеров исследуемого объекта к длине волны натурального излучения и аналогичного отношения соответствующих параметров модели:

$$L_n / \lambda_n = L_m / \lambda_m, \quad (5)$$

где:  $L_n$  и  $L_m$  - размеры модели, соответственно в натуре и модели, м, (см. выше);  $\lambda_n$ ,  $\lambda_m$  - длина волны соответственно в натуре и модели, м.

Для соблюдения этой основной зависимости при соблюдении условия равенства скорости распространения звука в модели  $c_m$  и натуре  $c_n$  нужно изменить длину волны источника. Это значит, что при уменьшении модели относительно природы приходится переходить в область коротковолновых излучений, а при увеличении - в длинноволновую область. При несоблюде-

нии этого немаловажного условия не выполняется подобие в явлениях дифракции.

**3.**Соблюдение равенства импедансов в модели и в натуре. Как указывается, например, в [2], это требование практически невыполнимо и на практике заменяется равенством коэффициентов звукопоглощения (что достигается путем подбора при конструировании модели адекватных материалов ради изготовления подобных натурным (по назначению) поверхностей в модели, которые отбивают энергию, углов падения звука и т.п.).

Однако такие физические модели, построенные с соблюдением известных критериев теории подобия, занимают большие площади, так как их масштаб без нарушения подобия не может быть значительно уменьшен, наглядные результаты возможно получить только после тщательной обработки всех данных. Имеет место их ограниченная область применения, поскольку затрудненное моделирование имеющихся одновременное на объекте разного вида. Это в особенности наглядно на примере акустического моделирования, которое рассматривается дальше. Так, сложность устройств акустического моделирования обуславливают громоздкость модели исследуемого объекта и моделей источников звуковой энергии, наличие великого множества разновидностей источников шума, их сложная конфигурация (например, модель линейного источника шума – дороги с автомобилями должна повторять все его уклоны, изгибы и транспортные развязки). В соединении с другими недостатками, указанными дальше, в первую очередь с необходимостью изменения давления воздушной среды для соблюдения подобия (для чего эти опыты следует делать в барокамере) эти способы не всегда могут быть оптимальными.

Известны общепризнанные недостатки физического моделирования. Недостатками такого подхода есть:

- по **п. 1** - сложность излучения и в особенности приема (регистрации) излучение звука, который моделируется (например, в масштабе  $c = 1:10$  объем микрофонного капсюля должен быть уменьшен в 1000 раз относительно натурального). Поэтому иногда стараются визуализировать звуковые импульсы, фотографируя их, в т.ч. с применением лазеров (акустическая голография). Эти вопросы разработаны для решения ряда специфических задач (ультразвуковая медицинская интроскопия, производственная дефектоскопия и др. применение звуковидение). Подробно это рассмотрен автором в работе [1].

- по **п. 2** - как правило, под физическим моделированием в акустику понимают именно “крупномасштабное моделирование на акустических полигонах и заглушенных камерах” в соответствии с [1]; поскольку уменьшение масштаба модели менее  $c = 1:20$  невозможно через переход в область ультразвуковых и гиперзвуковых частот, где высокая частота  $f_m$  и маленькая длина волны  $\lambda_r$  определяют специфические особенности распространения модельного излучения [3]. (Надо пренебречь тем, что вообще звук с частотой более  $2 \cdot 10^5$  Гц физически неспособный распространяться в воздухе). В таком

способе существенным образом ограниченный диапазон возможных масштабов.

- по п. 3 – несоответствие в модели и в натуре акустических и механических свойств материалов, причем согласно [3] их подобие на современному равные науки и техники обеспечить невозможно за следующими причинами:

1) необходимость выдерживать строго определенные углы падения звука; само по себе понятие “импеданс” неконкретизировано и не является общепринятым в физике;

2) требование равенства коэффициентов звукопоглощения в модели и натуре не так то просто выдержать, так как указанный коэффициент звукопоглощения зависит не только от разновидности, а также толщины материала, то есть для одного и того же самого материала в модели и в натуре коэффициенты звукопоглощения будут разные, если толщины рдел этого материала в подобных элементах модели и натуре разные (что вытекает с п. 1);

3) неконкретизированы требования к энергетическим характеристикам моделей источников шума относительно натуральных источников шума. Вследствие этого область применения физического моделирования ограниченная.

Физическое моделирование акустических процессов (и его мучительные проблемы) подробно описаны, например, в [2].

Вышеуказанные п. 1, 2, 3, характеризующие известный способ достижения сходства моделируемого и натурального акустического процессов представляет собой не что другое, как формулировку критериев подобия. Но это сделано частично, что представляет значительные неудобства при практической реализации моделей, где желательно иметь масштабные соотношения в доходчивом виде, а критерии и индикаторы подобия использовать для их проверки.

В развитие всего этого нами было предложено несколько усовершенствовать известный способ физического моделирования акустических процессов, а именно: его разновидность – моделирование источников шума. В качестве моделей таких источников предложено использовать обычные громкоговорители, через которые пропускают звуковой сигнал с записью реальной фонограммы, описывающей спектр шума этого типичного источника шума в натуре [4]. Например, для моделирования условий распространения шума на улицах города выполняют запись спектра этого шума с применением измерительного магнитофона. Таким образом, в полной мере учитываются специфические особенности реального спектра, учитывающие вклад автотранспорта (разных моделей машин с различными акустическими характеристиками), вклад городского электрического транспорта (специфические шумы трамвая) и др. Затем на модели городской застройки, уменьшенной в  $s$  раз, воспроизводят эту запись. Однако с учётом того, что линейные размеры модели уменьшены в силу соотношения (1), в соответствии с требованиями подобия (2) требуется поменять частоту модельного излучения  $f_m$  по отношению к сходственной натурной частоте  $f_n$ , Гц. Это достигает-

ся за счёт транспонирования при воспроизведении записанного звукового сигнала на магнитофоне, т.е. прокручивания магнитной ленты на более высокой скорости. Разработаны расчётные соотношения, позволяющие связать скорость движения магнитной ленты с частотой воспроизводимого сигнала при такого рода моделировании с неукоснительным соблюдением требований подобия.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Абракитов В.Э., Коржик Б.М. Совершенствование методов физического моделирования звука в целях повышения надежности систем городского хозяйства // Повышение эффективности и надежности систем городского хозяйства: Сб. научных трудов. К.: ИСДО, 1993. - с.84-91.
2. Градостроительные меры борьбы с шумом / Осипов Г.Л. и др. М.: Стройиздат, 1975. – 215 с.
3. Борьба с шумом / Под ред. Юдина Е.Я. М.: Издательство литературы по строительству, 1964. – 701 с.
4. Селиванов С.Е., Абракитов В.Э., Никитченко О.Ю., Чуприна Я.И. Взаимосвязь сходственных промежутков времени в модели и в натуре как дополнительный критерий подобия при физическом моделировании акустических процессов. // Науковий вісник будівництва. Вип. 45. Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2008. - С. - 159-161.