

---

---

# Методы и устройства повышения качества передачи информации

---

---

УДК 534.61

## Анализ характера распределения звуковых полей в зоне прямого распространения по трассе в условиях акустического полигона МИ ВлГУ

Артамонова Е.Ю., Касатова А.Р., Булкин В.В.

Представлены результаты анализа характера распространения звука в условиях акустического полигона, созданного в Муромском институте. Оценки даны по результатам проведённых измерений с последующим вычислением разностных величин относительно исходной амплитудно-частотной характеристики. Тип сигнала – «белый шум». Измерения проводились в октавных диапазонах частот. Визуализация осуществлена с использованием географической информационной системы QGIS, обеспечивающей представление в виде зон, ограниченных изолиниями. Полученные результаты показывают, что имеется априорная неравномерность в прямолинейном распространении сигнала по пространству полигона. Проведён анализ возможных причин такой неравномерности. Сделан вывод о необходимости проведения более сложного анализа с целью определения корректирующих значений для каждой точки полигона.

*Ключевые слова:* акустический полигон, амплитудно-частотная характеристика, уровень звукового давления, QGIS, белый шум.

### Введение

Акустическое загрязнение занимает третье по важности место среди главных экологических опасностей большого города, оказывая существенное неблагоприятное воздействие на психологическое и биологическое здоровье человека, состояние социальной среды [1]. К сожалению, существенная часть населения страны находится в зоне повышенного шумового воздействия из-за активного развития транспорта, в первую очередь - автомобильного. Например, в зонах пролегания автострад превышение уровня шума над санитарными нормами в дневное время доходит до 25 дБА. В городах активное автодвижение способствует распространению шума в жилые зоны города (т.н. спальные районы). Данная проблема является значимой особенно для больших (с населением свыше 100 тыс. человек), крупных (до 1 млн), крупнейших (до 3 млн) и сверхкрупных (свыше 3 млн. человек населения) городов.

Среди современных средств борьбы с акустическим шумом, с его активным распространением не последнее место занимают шумозащитные акустические экраны (АЭ). Су-

ществующее многообразие видов и конструкций экранов, стремление повысить эффективность защиты, требует проведения разнообразных исследований, позволяющих понимать характер распространения акустических сигналов в пространстве, влияние каких-либо элементов АЭ на эффективность их функционирования.

Для решения перечисленных задач в Муромском институте ВлГУ был построен полигон для исследования влияния шумозащитных или шумопоглощающих экранов на характер распространения акустического шума. Полигон был оборудован на старой технической территории, которая представляет собой нечасто используемую часть бывшей технической зоны, в настоящее время являющейся внутренней территорией одного из корпусов Муромского института [2].

Главным элементом полигона является полноразмерный АЭ с размерами 10200×3670×3200 мм. Вид полигона с экраном и прилегающей территорией показан на рис. 1.

За экраном, в зоне акустической тени, видна грунтовая дорога, здание склада и, на

заднем плане, территория бетоносмесительного участка. Внутри зоны АЭ установлена звукоусилительная аппаратура.



Рис. 1. – Вид полигона

Результаты измерений, выполненных на базе полигона, относятся к исследованию особенностей построения АЭ, влиянию этих особенностей на эффективность защиты от шума, представлены в ряде публикаций [2,3,4].

Проведение измерений, в том числе, поставило ряд вопросов, требующих дополнительного исследования. Так, при измерении уровней звукового давления (УЗД) в зоне акустической тени экрана (вдоль дороги, отчетливо видимой на рис.1) может не наблюдаться прогнозируемое снижение уровня шума, вплоть до не ожидаемого усиления на некоторых частотах.

Целью статьи является анализ характера распределения уровней звуковых полей в зоне акустической тени полигона.

#### Акустический полигон и методика измерений

Для проведения измерений за экраном (в зоне тени) была установлена звукоусилительная аппаратура, обеспечивающая требуемый УЗД исходного сигнала. Использовался акустиче-

ский сигнал типа «белый шум». Исследовалось распространение шума по прямой линии и с отклонением от этой линии. Измерения проводились в режиме октавных диапазонов шумомером Ассистент в период отсутствия работы бетоносмесительного участка.

Расположение основных элементов пространства полигона, а также выбранных ТИ показано на рисунке 2. Установленные ТИ на рис. 2 обозначены т.1, т.2 и т.д. Точка установки ИШ – т.0.

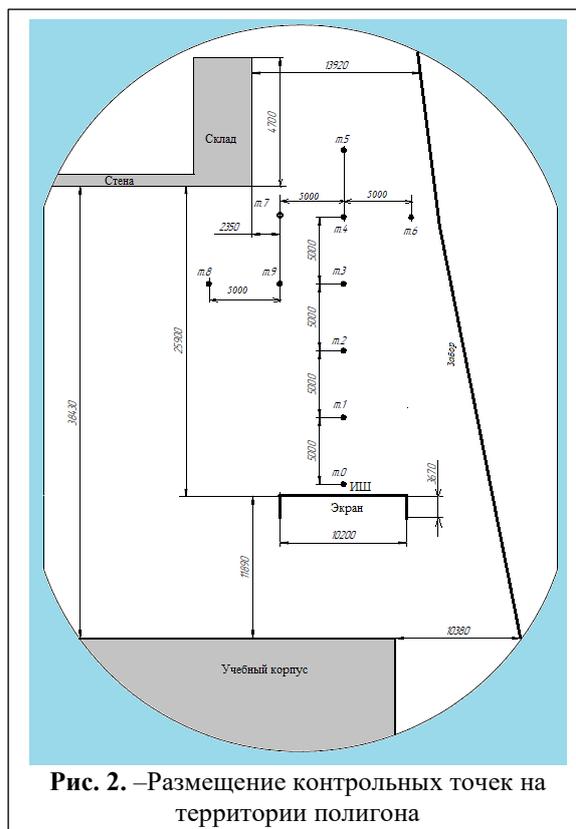


Рис. 2. –Размещение контрольных точек на территории полигона

Источник шума (ИШ) располагался непосредственно у обратной стороны экрана. Направление излучения – в глубь полигона, вдоль грунтовой дороги. Методика измерений соответствовала рекомендованной в [5]. В каждой из точек фиксировалось пять групп значений УЗД на каждой из средневзвешенных частот (от 63 до 8000 Гц), после чего среднее значение по частотам вычислялось по соотношению

$$L_f = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right), \quad (1)$$

где  $L_f$  – среднее значение УЗД на частоте  $f$ ;  $i$  – число измерений на данной частоте (в

нашем случае  $i=5$ );  $L_i$  – зафиксированное значение УЗД на конкретной частоте в  $i$ -том измерении.

Традиционно оценка изменения параметров акустического сигнала осуществляется сравнением амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) исходного контрольного сигнала с результатом измерения в конкретной рабочей точке. Такой подход позволяет взаимно компенсировать все изменения исходного сигнала, выделив непосредственно изменения основного сигнала.

В силу этого, а особенно в силу того, что излучаемый акустический сигнал при таких измерениях чаще всего имеет шумовой характер, на каждой рабочей частоте определяется значение изменения  $\Delta L_f$  уровня звукового давления в точке измерения (ТИ) на конкретной частоте и сравнение его с АЧХ исходного сигнала [5].

$$\Delta L_f = L_f^{\text{АЧХ}} - L_f^{\text{ТИ}}, \quad (2)$$

где  $L_f^{\text{АЧХ}}$  – АЧХ исходного сигнала (сигнала от ИШ) на частоте  $f$ ;  $L_f^{\text{ТИ}}$  – УЗД на частоте  $f$  в рассматриваемой точке измерения.

Таким образом, величина  $\Delta L_f$  характеризует изменение (уменьшение или увеличение) УЗД в каждой конкретной ситуации в сравнении с исходным.

### Графический анализ распределения полей

Для получения графического представления распределения уровней звукового давления на карте в виде изолиний была использована доступная географическая информационная система QGIS. С ее помощью можно создавать, редактировать, визуализировать, анализировать и публиковать геопространственную информацию в Windows, Mac OS, Linux. Система хорошо документирована на русском языке. В данном случае использовались возможности совмещения растровых объектов (план полигона) и векторных данных, которые описываются координатами ТИ на плане, а также значениями УЗД.

Конечным результатом построений является изображение распределения УЗД в зоне измерений в виде конкретных численных значений уровней, соответствующих каждой из точек, и изолиний, характеризующих примерные границы распределения этих уровней (рис. 3-10).

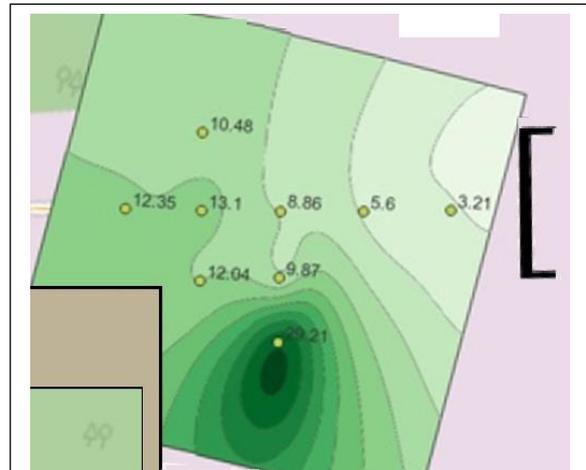


Рис. 3. – Распределение УЗД на частоте 63 Гц

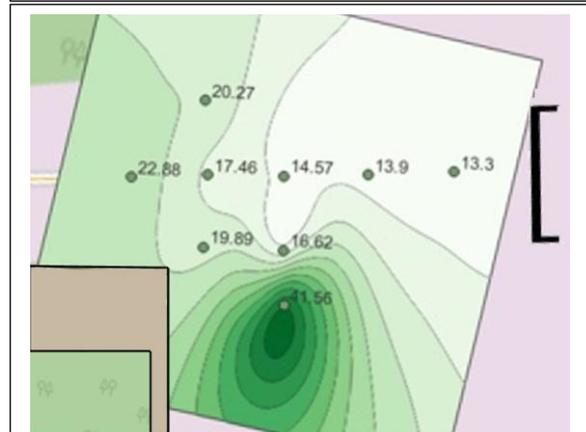


Рис.4.– Распределение УЗД на частоте 125 Гц

Анализ распределения уровней показывает, что в целом принцип естественного ослабления уровней звука с расстоянием соблюдается. Имеют место некоторые вариации значений. Например, на частоте 63 Гц постепенное ослабление после т.3 усиливается, однако в т.5 имеется некоторое уменьшение ослабления сигнала. Некоторая сходность относительно т.4 и т.5 наблюдается на частоте 2000 Гц.

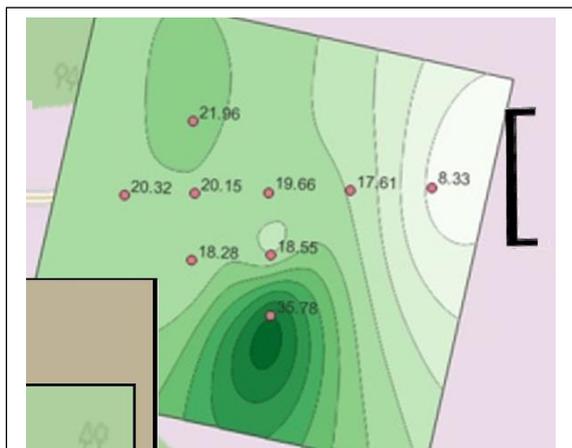


Рис.5.–Распределение УЗД на частоте 250 Гц

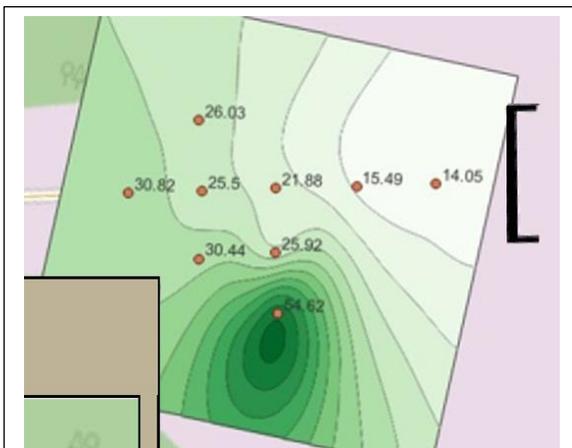


Рис.6.–Распределение УЗД на частоте 500 Гц

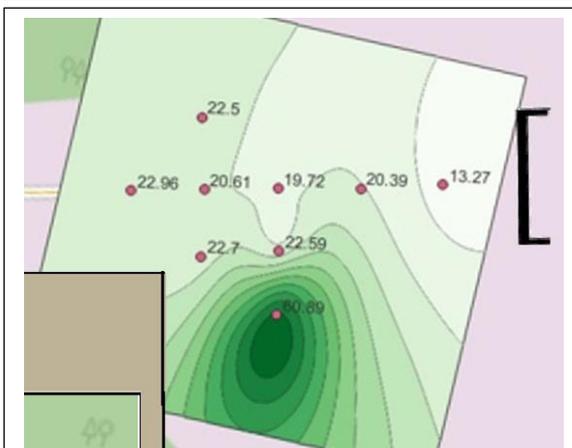


Рис.7.–Распределение УЗД на частоте 1000 Гц

Не смотря на учёт особенностей АЧХ исходного сигнала через сопоставление по формуле (2) необходимо отметить неравномерность значений УЗД во всех ТИ. Имеют место и локальные неравномерности от точки к точке: например, на частоте 250 Гц в большинстве ТИ, кроме т.2, т.3 и т.4 наблюдается уменьшение величины ослабления (т.е. УЗД в

этих точках выше остальных). На частотах 125 и 500 Гц практически во всех точках, за исключением т.2, 500 Гц, уровень затухания возрастает (т.е. УЗД сигнала снижается). Сходная картина (за редким исключением) на частотах 1000 и 4000 Гц.

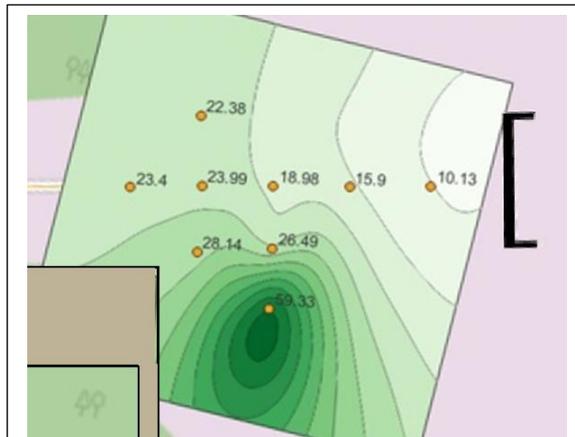


Рис.8.–Распределение УЗД на частоте 2000 Гц

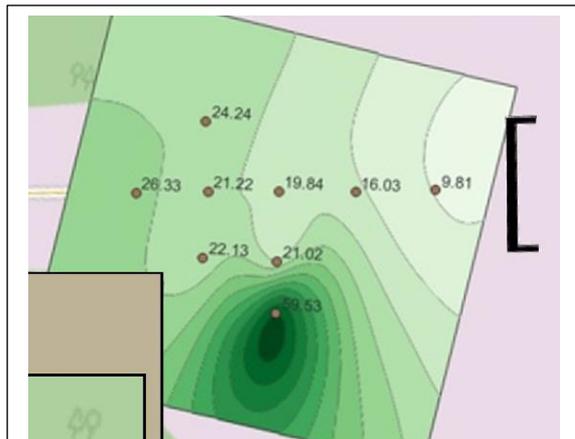


Рис.9.–Распределение УЗД на частоте 4000 Гц

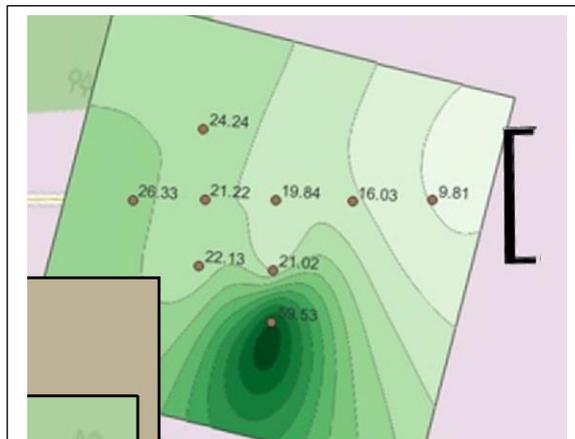


Рис.10.–Распределение УЗД на частоте 8000 Гц

Также, не смотря на, казалось бы, симметричное относительно основной линии расположение т.6 и т.7 не приходится говорить о совпадении АЧХ в этих точках.

### Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что имеет место неравномерность в распространении акустических сигналов в районе рассматриваемого полигона.

Очевидно, что причину таких девиаций следует, прежде всего, искать в «не идеальности» самой территории полигона. Наличие строения в зоне прямого распространения сигнала (склад) и примыкающей к нему стены, создание сужения типа «горла» строением с одной стороны и забором с другой – всё это априори создаёт неравномерности в пространстве полигона, которые трудно учитывать.

Очевидно, что необходимо более серьёзное и методически обоснованное исследование, которое позволит хотя бы получить значения поправок для каждой из ТИ.

*Полигон создан при поддержке гранта РФФИ № 18-38-00909.*

**Поступила 18 сентября 2022 г.**

The results of the analysis of the nature of sound propagation in the conditions of an acoustic polygon created at the Murom Institute are presented. Estimates are given based on the results of the measurements, followed by the calculation of the difference values relative to the initial amplitude-frequency response. The signal type is "white noise". Measurements were carried out in octave frequency ranges. Visualization is carried out using the geographical information system QGIS, which provides representation in the form of zones bounded by isolines. The results obtained show that there is a priori unevenness in the rectilinear propagation of the signal over the polygon space. The analysis of possible causes of such unevenness is carried out. It is concluded that it is necessary to conduct a more complex analysis in order to determine the correction values for each point of the polygon.

*Key words:* acoustic polygon, amplitude-frequency response, sound pressure level, QGIS, white noise.

*Артамонова Екатерина Юрьевна* – студентка кафедры техносферной безопасности Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

*Касатова Алина Романовна* – студентка кафедры техносферной безопасности Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

*Булкин Владислав Венедиктович* – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

*E-mail:* lwb-kipra@mail.ru.

*Адрес:* 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

### Литература

1. Булкин В.В., Соловьев Л.П., Шарапов Р.В., Первушин Р.В., Кириллов И.Н. Проблемы построения систем мониторинга акустического загрязнения селитебных зон / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2014, №1(19). – С.48-53.

2. Kalinichenko M.V., Bulkin V.V. Noise-absorbing acoustic screen based on a Helmholtz resonator / Akustika, vol.39, April 2021. -P.274-278. DOI: 10.36336/akustika202139272

3. Кубылин С.С., Калиниченко М.В. Оценка эффективности работы антидифрактора, установленного на модульном шумозащитном экране / Инновационная наука, №6, 2020, С.52-57.

4. Дудолодов Е.С., Кубылин С.С., Булкин В.В., Хромулина Т.Д. Оценка эффективности защиты от акустического шума посредством модульного шумозащитного экрана / Информационные технологии в контроле, управлении качеством и безопасности: сборник научных трудов VIII Международной конференции «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее». – Томск: ТГУ, 2019. –С.98-102.

5. ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий / Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно-методических документов. В 2 томах. Том 1. –СПб.: Компания «Интеграл», 2008. –С.355-384.