

УДК: 534.836.2  
OECD: 01.03.AA

## Учет погрешностей при построении карт шума

Буторина М.В.<sup>1\*</sup>, Осетров А.В.<sup>2</sup>, Светлов В.В.<sup>3</sup>, Фиев К.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> К.т.н., доцент кафедры «Экология и производственная безопасность»

<sup>2</sup> Д.т.н, профессор кафедры «Алгоритмическая математика», Санкт-Петербургский Электротехнический университет (ЛЭТИ), г. Санкт-Петербург, РФ

<sup>3</sup> Аспирант кафедры «Экология и производственная безопасность»

<sup>1,3</sup> Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

### Аннотация

Оперативные карты шума являются средством оценки шумового режима территории, позволяющим определить зоны сверхнормативного воздействия и рационально выбирать шумозащитные мероприятия. На результаты картирования шума значительное влияние оказывают выбранный метод расчета, качество и интерпретация исходных данных, используемых для прогнозирования шума, а также другие факторы. Рассмотрено влияние таких факторов как выбранный метод расчета (ручной или при помощи программного обеспечения), расчетная методика по оценке снижения шума как в открытом пространстве, так и при наличии дифракции звука за экранирующими объектами, разбиение линейного источника шума на участки, высота расчетной точки и шаг расчетной сетки. Показано, что при шумовом картировании величина отклонения результатов расчета от измеренных уровней шума может достигать 8 дБА и более.

**Ключевые слова:** карта шума, погрешность, исходные данные, метод расчета.

## *Accounting for errors in the development of noise maps*

*Butorina M.V.<sup>1\*</sup>, Osetrov A.V.<sup>2</sup>, Svetlov V.V.<sup>3</sup>, Fiev K.P.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *PhD, assistant professor of the department of Environmental and Industrial Safety*

<sup>2</sup> *DSc, professor of the department of Algorithmic Mathematics,*

*Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, St. Petersburg, Russia*

<sup>3</sup> *Post-graduate student of the department of Environmental and Industrial Safety*

<sup>1,3</sup> *Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia*

### **Abstract**

*Operational noise maps serve as a mechanism to assess the noise situation of inhabited territory. They help to determine the zones of excess exposure and rationally plan noise protection measures. The results of noise mapping are significantly influenced by the calculation method, the quality and interpretation of the input data used to predict noise, as well as other factors. The influence of various uncertainties such as chosen calculation method (manual or using software), the calculation method for assessing noise reduction both in open space and in the presence of sound diffraction behind barriers, splitting a linear noise source into segments, height of receiver and step of the computational grid were considered. It is shown that the deviation from the measured data when developing a noise map can reach 8 dBA and even more.*

**Keywords:** *noise map, uncertainty, input data, calculation method.*

## Введение

В России согласно СП 51.13330.2016 [1] оперативные карты шума являются средством оценки шумового режима территории, позволяющим определить зоны сверхнормативного воздействия, оценить их площадь, количество жилых зданий и численность людей на территории этих зон, наметить шумозащитные мероприятия, рассчитать их требуемый объем и стоимость.

В Европе за годы применения Директивы 2002/49/ЕС (END) специалисты изучили различные погрешности при картировании шума [2-9]. Основные из них – это исходные данные, человеческие ошибки, методика расчета и интерпретация результатов. Определённые затруднения вызывает разработка карты шума расчетными методами с последующей проверкой экспериментальными измерениями.

Для расчетов требуются различные исходные данные, но не все они могут быть доступны для проектировщика. Исходные данные берутся по статистическим данным, собираемым за десятилетия работы. Основные параметры транспортных потоков, влияющие на шумовую характеристику, такие как интенсивность движения и состав потока оцениваются по среднегодовым значениям. Скорость движения принимается по нормативным ограничениям. Провести оценку ускорения на конкретном участке дороги практически невозможно. Все эти факторы могут вызвать погрешность до 3 дБА и более. Во избежание этого в документации по передовой практике шумового картирования предлагаются четкие правила сбора данных [10]. Но даже если собраны достаточно точные исходные данные, расчет шумовой характеристики источника и разбиение линейного источника на участки для дальнейшего расчета распространения шума могут стать причиной погрешности результата расчета при построении карты шума.

Еще один источник неопределенности – метод, используемый для расчета распространения шума. Иногда методы расчета не действуют при определенных условиях. Например, ГОСТ 31295.2-2005 [11] предназначен для расчета шума только с подветренной стороны. Различные варианты дифракции в реальной застройке вообще не рассматриваются.

Таким образом, процесс разработки карт шума порождает неопределенности конечного результата, которые могут отличаться от измеренных уровней до 10 дБА. В статье рассмотрено влияние различных погрешностей на результаты шумового картирования.

### 1. Погрешности ручного расчета

Расчеты уровней шума могут выполняться как вручную, так и при помощи программного обеспечения. На рис. 1 представлено сравнение результатов расчета, полученных при построении санитарно-защитной зоны котельной. В ручном методе расчета реализован способ огибающих кривых, при котором строятся зоны акустического дискомфорта от каждого источника шума, которые потом объединяются общей огибающей кривой.

Программный расчет выполнен при помощи программы «Эколог-Шум» по сетке с шагом в 20 м. При таком методе расчета в каждой точке сетки рассчитываются уровни шума от каждого источника, точки с равными уровнями звука объединяются изолинией.

Как показывают результаты расчетов, результаты ручного расчета отличаются от результатов, полученных при помощи программного обеспечения, на величину до 2-3 дБА, а размер зоны санитарного разрыва в случае ручного расчета оказывается занижен на величину до 30 м. Результаты, полученные при помощи программного обеспечения, более

точные, поскольку они позволяют учесть суммарное воздействие различных источников, а также более точно учесть препятствия на пути распространения шума.

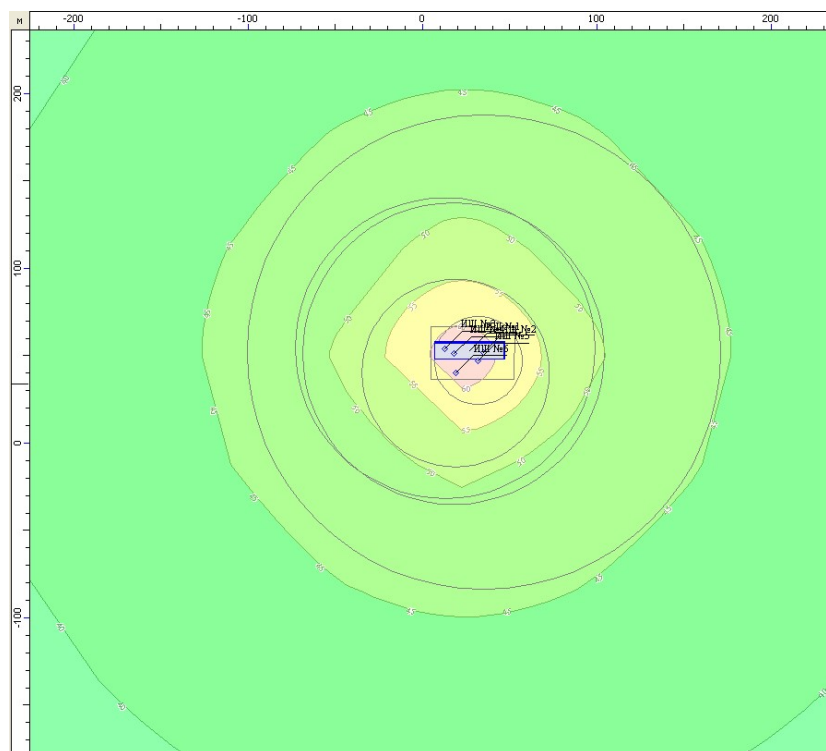


Рис. 1. Сравнение результатов ручных и программных расчетов

Поэтому в соответствии с ГОСТ Р 53187 [12] расчеты показателей шума для составления оперативных шумовых карт следует проводить при помощи автоматизированных программ расчета. В рамках процесса контроля качества программного обеспечения, используемое для картирования шума, проверяется на контрольных примерах. Допустимая разность результатов контрольного примера и программного расчета составляет 0,2 дБ [13], что повышает точность результатов картирования шума.

## 2. Погрешности, обусловленные качеством и интерпретацией исходных данных

Неопределенность исходных данных связана с параметрами источника шума, принимаемыми в расчет.

На точность карты шума наземного транспорта влияют такие параметры как интенсивность движения, скорость, состав потока. Для того, чтобы получить результат расчета с точностью  $\pm 1$  дБА необходимо обеспечить следующую точность исходных данных [10]:

- интенсивность движения должна быть задана с точностью  $\pm 25\%$ ;
- скорость – с точностью  $\pm 10$  км/ч;
- доля грузового транспорта в потоке – с точностью  $\pm 5\%$ .

При отклонении результатов расчета шумовой характеристики источника шума на величину более 3 дБА от результатов измерений, следует выполнить натурные измерения параметров транспортного потока либо измерения шумовой характеристики транспорта в соответствии с ГОСТ 20444 и провести повторное построение карты шума с учетом полученных исходных данных.

Но даже при использовании высоко точных исходных данных проблема может заключаться в их интерпретации, например, при расчете распространения шума от линейного источника.

Анализ расчетных данных выявил важную проблему, связанную с разбиением линейного источника шума на участки. В западных методиках разбиение происходит с шагом в  $2-5^\circ$ , в российской методике по правилу: длина участка в 5 раз больше расстояния, но при этом в российской методике применяется формула для расчета дивергенции, учитывающая длину источника.

Согласно российскому законодательству расчет должен выполняться по СП 276.1325800.2016 [14]. Часть положений данного документа принято в соответствии с ГОСТ 31295.2-2005 [11], но при этом снижение шума в результате геометрической дивергенции для линейного источника (потока автотранспорта) рассчитывается как:

$$L_A = 10 \lg \left[ \operatorname{arctg} \frac{l}{2R_0} \right] - 10 \lg \left[ \operatorname{arctg} \frac{l}{2R} \right] - 10 \lg \left[ \frac{R}{R_0} \right], \quad (1)$$

где  $l$  - длина участка дороги, м;  $R$  - расстояние от источника шума до расчетной точки, м;  $R_0$  - базовое расстояние, м.

Мы рекомендуем производить разбиение линейного источника шума на участки (сегменты) в соответствии с европейскими требованиями к построению карт шума, исходя из угла обзора в 5 градусов (рис. 2).

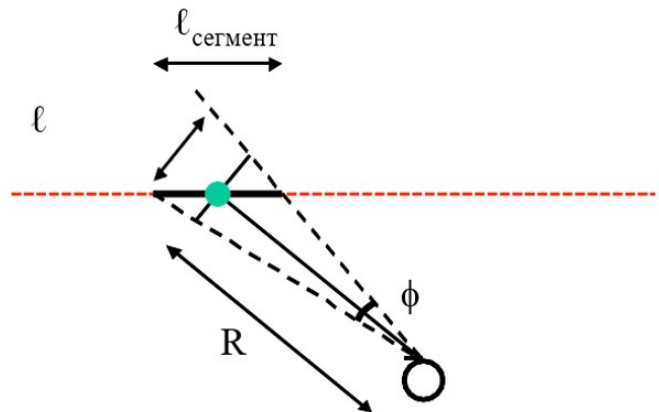


Рис. 2. Учет размера участка дороги

Расчет размера участка ( $l$ , м), принимаемого в расчет, производится по формуле:

$$l = 2R \operatorname{tg} (\varphi/2). \quad (2)$$

С учетом  $\varphi = 5^\circ$ ,  $l = 1,5R$ .

Далее шумовая характеристика учитываемого участка определяется как:

$$L_{\text{участка}} = L_A + 10 \lg(l), \quad (3)$$

где  $L_A$  - шумовая характеристика потока автотранспорта, дБА, определенная по национальным расчетным методикам.

Далее производится расчет распространения шума по ГОСТ 31295.2 [11], при этом затухание в результате геометрической дивергенции рассчитывается как:

$$A_{\text{див}} = 10 \lg(4\pi R/R_0). \quad (4)$$

Данный подход реализован в западных расчетных методиках таких как ISO 9613-2, Nord 2000, RLS. Как показывает сравнение результатов расчета, проведенных с использованием данного подхода, а также подхода, реализованного в СП 276.1325800.2016 [14], с результатами измерений, западный подход обеспечивает более точные результаты, отклонение составляет 1-2 дБА, в то время как подход, предлагаемый в российских нормативных документах, дает результаты, заниженные на 4-5 дБА. Таким образом, при построении карт шума необходимо реализовывать метод расчета, рекомендованный западными методиками, т.е. разбивать линейный источник шума на участки с шагом в 5 градусов, а далее производить расчет распространения шума в открытом пространстве по ГОСТ 31295.2.

### 3. Погрешности расчетных методик

Погрешности расчетных методик связаны с тем, что в них не учитываются реальные варианты расположения жилой застройки, а также различные экранирующие сооружения, расположенные на пути распространения шума. Например, существующие подходы к определению эффективности широкого экрана при наличии дифракции на нескольких кромках зачастую не позволяют учесть экранирующие объекты сложной формы.

В ГОСТ Р 56234.3-2019 [13] представлена методология применения ГОСТ 31295.2 на практике, которая заключается в построении траектории через края экранов в виде огибающей линии наименьшей длины, соединяющей источник, края экрана и приемник, расположенной в одной плоскости с источником шума и расчетной точкой. Эта линия похожа на резиновую ленту, представленную на рисунке 3. Вид пути распространения звука будет соответствовать формуле ГОСТ 31295.2, только в том случае, если экран находится под прямым углом к линии, соединяющей источник шума и расчетную точку.

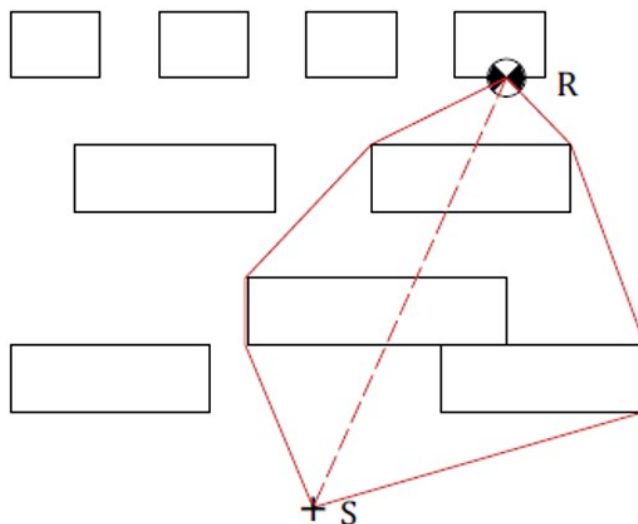


Рис. 3. Трассировка лучей для расчета дифракции

Описанная выше методология была успешно реализована в программном обеспечении SoundPLAN (Германия). Поскольку ГОСТ Р 56234.3-2019 [13] был принят в России в 2019 году, существующее российское программное обеспечение, реализующее положения СП 276.1325800.2016 [14], его не учитывает. Сравнение карт шума, разработанных при помощи немецкого и российского программного обеспечения,

представлено на рисунке 4. Результаты расчета уровней звука в расчетных точках, показанных на рисунке 4б), представлены на рисунке 5.

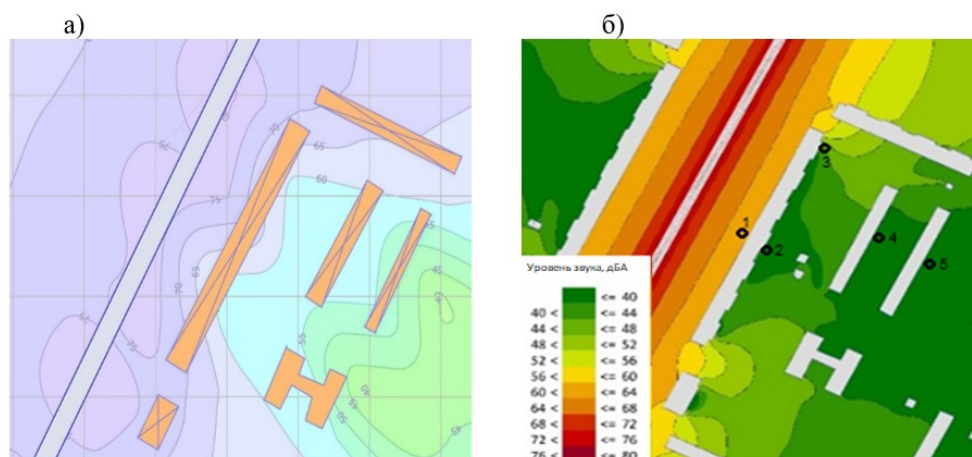


Рис. 4. Расчет уровней шума при помощи ПО:  
а) «Эколог-Шум», Россия; б) SoundPLAN, Германия

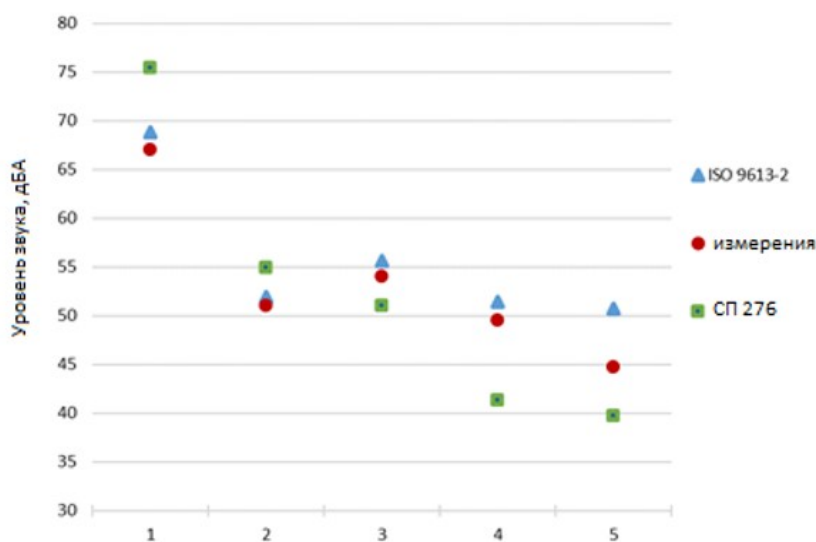


Рис. 5. Сравнение результатов расчетов и измерений

Анализ полученных результатов показывает, что применение ГОСТ 31295.2 (ISO 9613-2) с использованием подхода к оценке дифракции, предусмотренного ГОСТ Р 56234.3-2019, позволяет получить результаты, совпадающие с результатами измерений со средним отклонением 1-2 дБА. Отклонение российского метода составляет 5-8 дБА, что не соответствует требуемой точности, обеспечиваемой при построении карт шума. Таким образом, для повышения точности шумового картирования следует реализовать европейский подход к дифракции, предложенный в [13].

У этого подхода также есть свои ограничения. В случае дифракции более чем на двух краях, а также при перпендикулярном расположении экранов относительно дороги параметры, учитывающие расстояние между краями экранов, становятся неопределенными. Следовательно, этот метод не может применяться при наличии более чем двух дифракционных краев с высокой точностью.

Таким образом, погрешность, связанная с расчетной моделью, для российских расчетных методик, основанных на ГОСТ 31295.2, в условиях свободного поля в зависимости от расстояния, составляет в среднем:

- $\pm 3$  дБА для высоты источника шума менее 5 м;
- $\pm 1-3$  дБА для высоты источника шума более 5 м, но менее 30 м.

Результаты многочисленных оценок показывают, что для наиболее часто используемых в расчете высот расчетной точки погрешности составляют:

- для высоты 1,5 м – 2-3 дБА;
- для высоты 4 м – 1-2 дБА.

#### 4. Погрешности, связанные с шагом расчета

Согласно [7, 9] расчетная сетка и процесс интерполяции результатов расчета также оказывают влияние на точность карты шума. Оценка этого вклада очень важна, так как его можно минимизировать без изменения исходных данных и методики расчета. Для повышения точности достаточно использовать более мелкую расчетную сетку с большим количеством расчетных точек. Но даже если используется расчетная сетка с высоким разрешением, процесс интерполяции вносит свой вклад в погрешность.

Чтобы оценить неопределенность, вызванную шагом расчета, были разработаны карты шума дороги по сетке 10 x 10 м и 50 x 50 м (рис. 6).

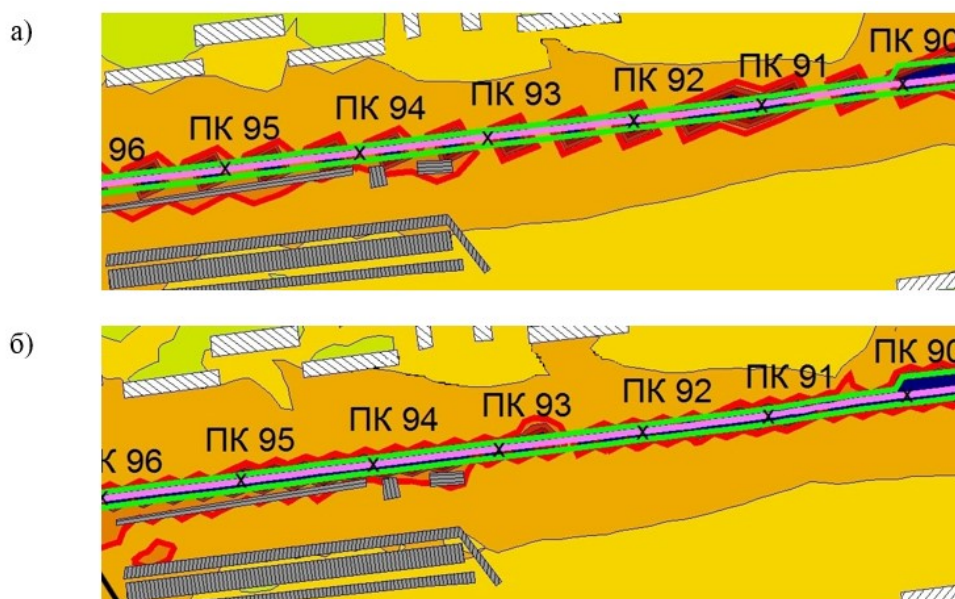


Рис. 6. Карты шума, рассчитанные с шагом: а) 50 м, б) 10 м

Шаг расчетной сетки влияет на количество расчетных точек, в которых результат определяется путем интерполяции данных, полученных для соседних с ними точек. Наиболее точный результат при построении карт шума городских территорий получается при шаге сетки 10 м, при котором отклонение результатов расчета не превышает 1 дБА. Меньший шаг сетки использовать нецелесообразно, поскольку при этом значительно увеличивается время расчета. При увеличении шага сетки отклонение увеличивается примерно на 0,5 дБА на каждые 10 м, в результате для шага в 50 м отклонение составит  $\pm 3$  дБА. Для получения карты шума с заданной точностью необходимо выбирать соответствующий шаг расчетной сетки.

Как показано на рис. 6б), при уменьшении шага расчетной сетки можно увидеть, что большее количество зданий подвержено повышенным уровням шума. Поэтому при

разработке мероприятий шумозащиты также очень важно правильно выбирать шаг расчета.

### **Заключение**

Оперативные карты шума позволяют определить зоны сверхнормативного воздействия шума и разработать шумозащитные мероприятия.

Погрешность расчетов при построении карт шума может быть обусловлена неопределенностью исходных данных, неопределенностью, связанной с расчетной моделью, а также погрешностями, возникающими в ходе построения карты шума.

Во избежание ошибок, связанных с ручными методами расчета, карты шума необходимо разрабатывать при помощи программного обеспечения надлежащего качества. Точность такой оценки составит  $\pm 0,2$  дБА, в то время как отклонения результатов, полученных при помощи ручного расчета, составляют  $\pm 2-3$  дБА.

В процессе разработки карт шума были получены следующие величины погрешностей:

- некорректная сегментация дороги может вызвать погрешность в 4 дБА;
- несоблюдение европейских стандартов при расчете дифракции дает отклонение в 5-8 дБА;
- погрешность расчетной методики, реализованной в ГОСТ 31295.2, составляет  $\pm 1-3$  дБА;
- наиболее точный результат при построении карты шума получается при шаге расчетной сетки, равном 10 м, погрешность не превышает 1 дБА.

Следует отметить, что при наложении нескольких погрешностей суммарная погрешность расчета увеличивается еще значительно, поэтому при построении карт шума необходимо проводить их калибровку при помощи натуральных измерений.

### **Список литературы**

1. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1)
2. Berndt, A. Uncertainties in environmental noise modelling. Proceedings of ACOUSTICS 2004, Gold Coast, Australia, 3-5 November, 443-446, (2004).
3. E. Hartog van Banda, H. Stapelfeldt. Implementing prediction standards in calculation software - the various sources of uncertainty. INCE Europe Symposium, Le Mans, France, 27-29 June, (2005).
4. W. Probst. Uncertainties in the prediction of environmental noise and in noise mapping. INCE Europe Symposium, Le Mans, France, 27-29 June, (2005).
5. Popp, C. Noise prediction method uncertainties. Workshop Inquinamento acustico, Vercelli, Italia, (2009).
6. Ausejo, M.; Recuero, M.; Asensio, C.; Pavón, I.; Pagán, R. Study of uncertainty in noise mapping, Proceedings of Internoise, Lisbon, Portugal, (2010).
7. C. Asensio, M. Ruiz, I. Pavón, M. Ausejo, M. Recuero. Uncertainty in Noise Maps Isolines: The Effect of the Sampling Grid, Acta Acustica United With Acustica, 97, 237 – 242 (2011).
8. J. M. Borillas, C. P. Gajardo. Uncertainty evaluation of continuous noise sampling, Applied Acoustics, 75, 27-36, (2014).
9. Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy HAL 3188.3/10/2 DGMR V.2004.1300.00.R005.1, (2004).



10. Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology: Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement, (2008).
11. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета
12. ГОСТ Р 53187-2008 Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий
13. ГОСТ Р 56234.3-2019/ISO/TR 17534-3:2015 Акустика. Программное обеспечение для расчетов уровней шума на местности. Часть 3. Рекомендации по обеспечению качества расчетов по ИСО 9613-2.
14. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков

### References

1. SP 51.13330.2016 Sound protection
2. Berndt, A. Uncertainties in environmental noise modelling. Proceedings of ACOUSTICS 2004, Gold Coast, Australia, 3-5 November, 443-446, (2004).
3. E. Hartog van Banda, H. Stapelfeldt. Implementing prediction standards in calculation software - the various sources of uncertainty. INCE Europe Symposium, Le Mans, France, 27-29 June, (2005).
4. W. Probst. Uncertainties in the prediction of environmental noise and in noise mapping. INCE Europe Symposium, Le Mans, France, 27-29 June, (2005).
5. Popp, C. Noise prediction method uncertainties. Workshop Inquinamento acustico, Vercelli, Italia, (2009).
6. Ausejo, M.; Recuero, M.; Asensio, C.; Pavón, I.; Pagán, R. Study of uncertainty in noise mapping, Proceedings of Internoise, Lisbon, Portugal, (2010).
7. C. Asensio, M. Ruiz, I. Pavón, M. Ausejo, M. Recuero. Uncertainty in Noise Maps Isolines: The Effect of the Sampling Grid, Acta Acustica United With Acustica, 97, 237 – 242 (2011).
8. J. M. Borillas, C. P. Gajardo. Uncertainty evaluation of continuous noise sampling, Applied Acoustics, 75, 27-36, (2014).
9. Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy HAL 3188.3/10/2 DGMR V.2004.1300.00.R005.1, (2004).
10. Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology: Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement, (2008).
11. GOST 31295.2-2005 (ISO 9613-2:1996) Noise. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2. General method of calculation, (1996).
12. GOST R 53187-2008 Acoustics. Noise monitoring of cities
13. GOST R 56234.3-2019/ISO/TR 17534-3 Acoustics – Software for the calculation of sound outdoors. Part 3. Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1 (2015).
14. SP 276.1325800.2016 Buildings and territories. Protection design rules from traffic noise, (2016).