

УДК 504.055

С.А. Гагарин, Л.И. Романов

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШУМА ОТ ЛИНЕЙНОГО ИСТОЧНИКА С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОГО УКЛОНА АВТОДОРОГИ

Рассмотрены особенности применения поправочных коэффициентов, которые учитывают рельеф местности при расчетной оценке шумового загрязнения. Проанализированы результаты инструментальных измерений от линейных источников шума по обе стороны дороги одновременно, со стороны спуска и подъема движения. В эксперименте рассматривалось 5 участков улиц с уклоном 8–10 градусов. Разница значений составила до 2 дБ. При математической обработке массива информации задан уровень значимости $\alpha=0,05$ нулевой гипотезы. Определен доверительный интервал для разницы средних. Выявлено, что примерно через 50 м разница в уровне звукового давления по обе стороны дороги выравнивается. По результатам эксперимента предлагается учитывать показатели транспортного потока индивидуально для каждой стороны движения, если уклон рельефа будет превышать 5 градусов.

Ключевые слова: рельеф, уровень звукового давления, линейный источник шума.

Оценка шумового загрязнения в городской среде в первую очередь базируется на учете транспортного загрязнения. Существующие математические модели, кроме дополнительных факторов (расстояние, $L_{\text{Арас}}$; наличие зеленых насаждений, $L_{\text{Азел}}$; архитектурные особенности местности, $L_{\text{Азастр}}$; затухание в воздухе, $L_{\text{Авоз}}$; поглощение поверхностью территории, $L_{\text{Апок}}$; отражение от конструкций зданий, $L_{\text{Аотр}}$; ограничение угла видимости, $\Delta L_{\text{Аа}}$ и др.), опираются на базовую величину уровня звукового давления (УЗД) транспортного потока, $L_{\text{Аэкв}}$.

$$L_{\text{Ар.т.}} = L_{\text{Аэкв.}} - L_{\text{Арас.}} - L_{\text{Авоз.}} - \Delta L_{\text{в/т}} - L_{\text{Апок.}} - L_{\text{Азел.}} - L_{\text{Аэкр.}} - L_{\text{Азастр.}} - L_{\text{Аотр.}} - \Delta L_{\text{Аа}}, \text{дБА} [2-4].$$

При оценке акустической нагрузки (эквивалентный и максимальный уровень звука) от транспорта на дорогах с интенсивностью до 2 – 3 тысяч ед/час принято суммировать их количество с учетом градаций (легковые, грузовые, пассажирские), не разделяя по направлению движения. Дополнительно к этому принимается во внимание поправочный коэффициент, учитывающий влияние рельефа. Его значение добавляется в случае перепада высот от 2 % до 10 % (от 1 дБА до 8 дБА соответственно). При этом приращение осуществляется независимо от того, с какой стороны дороги направляется поток машин – в направлении спуска или подъема.

Целью данного исследования была оценка разницы в формировании УЗД в зависимости от того, когда машины движутся под дополнительной нагрузкой «в гору» или «накатом» вниз по склону. Кроме того, определялся интервал значений, в пределах которого это различие существенно.

Материалы и методы исследований

Эксперимент с анализом распространения звуковых волн на пересеченной местности осуществлялся в летнее время в г. Ижевске. Измерения проводились поверенным оборудованием 1-го класса точности шумомером-анализатором «Октава 110А» и «Экофизика 110А». Особенностью измерений является их одновременность с обеих сторон. Для сравнения и уточнения показаний приборов применялся акустический калибратор 1-го класса точности.

Место проведения – линейные участки улиц г. Ижевска (рис. 1, табл. 1):

1) ул. К. Маркса: ширина дороги на месте эксперимента 25 м, 3 полосы движения в каждую сторону (включая трамвайный путь), дорожное полотно удалено от ближайших домов на 44 м, здания 5-этажные, располагающиеся перпендикулярно направлению движения, между дорогой и домами сплошного пояса озеленения нет;

2) ул. Кирова: ширина дороги на месте эксперимента 30 м, 4 полосы движения в каждую сторону (включая трамвайный путь), дорожное полотно удалено от ближайших домов на 31 м, здания 5-этажные, располагающиеся перпендикулярно направлению движения, между дорогой и домами сплошного пояса озеленения нет;

3) ул. К. Либкнехта: ширина дороги на месте эксперимента 20 м, 3 полосы движения в каждую сторону, дорожное полотно удалено от ближайших домов на 20 м, здания 5- и 10-этажные, распола-

гающиеся перпендикулярно направлению движения, между дорогой и домами сплошного пояса озеленения нет;

4) ул. В. Чугуевского: ширина дороги на месте эксперимента 15 м, 2 полосы движения в каждую сторону, дорожное полотно удалено от ближайших домов на 23 м, здания 9-этажные, располагающиеся под углом $\approx 45^\circ$ к направлению движения, между дорогой и домами сплошного пояса озеленения нет;

5) ул. Пушкинская: ширина дороги на месте эксперимента 17 м, 2 полосы движения в каждую сторону, дорожное полотно удалено от ближайших домов на 27 м, здания 5-этажные, располагающиеся перпендикулярно направлению движения, между дорогой и домами сплошного пояса озеленения нет.

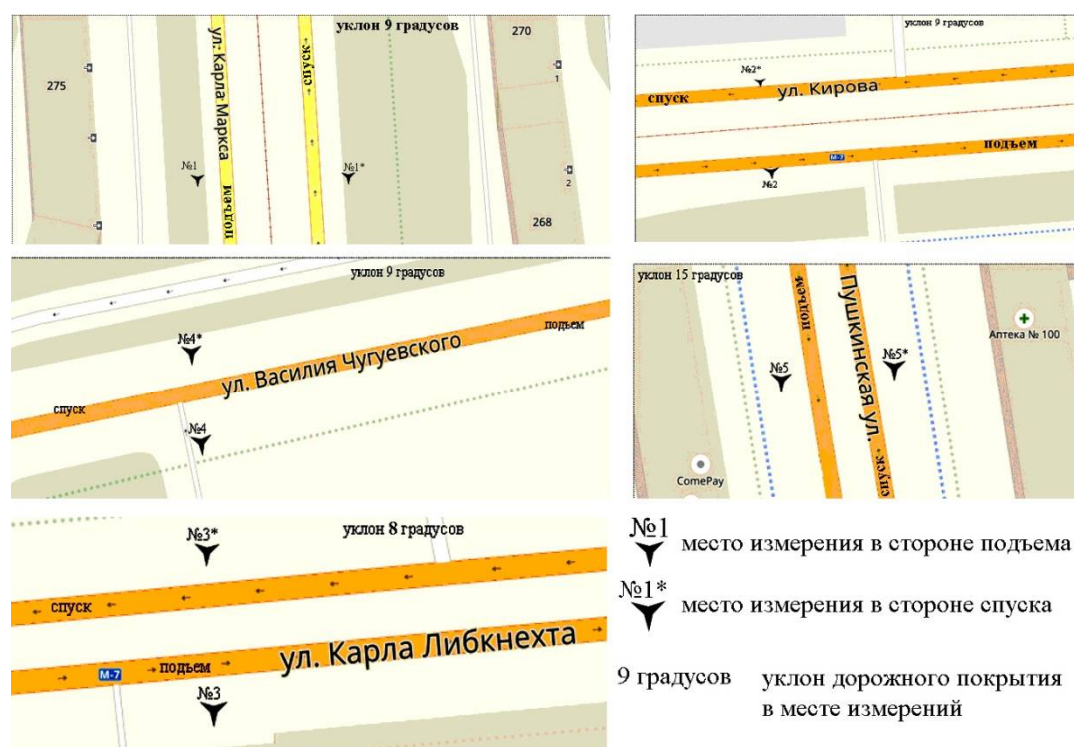


Рис. 1. Схема расположения пунктов измерений уровней звукового давления

Таблица 1

Характеристики транспортных потоков на исследуемых участках

Участок улицы	Ширина участка дороги, м	Уклон, градусы	Скорость потока, км/час	Максимальное количество автомобилей в час	Доля грузового и пассажирского транспорта, %	Время наблюдений, час
К. Маркса	25	9	50	1851	0,4	09–11 час
Кирова	30	9	50	2748	2,0	10–12 час
К. Либкнехта	20	8	45	2070	1,2	10–12 час
В. Чугуевского	15	9	45	1740	1,1	09–11 час
Пушкинская	17	15	50	1806	0,4	08–10 час

Условия проведения эксперимента:

- уклон поверхности составил от 9 до 15 градусов;
- время проведения измерений от 9 до 11 час;
- скорость транспортных потоков 45–50 км/час;
- измерения проводились на расстоянии 7,5 м от первой полосы движения перпендикулярно дороги по обе стороны одновременно;
- количество измерений в каждом пункте от 20 до 30 отсчетов;

– в эксперименте применялись прошедшие поверку шумомеры-анализаторы «Октава 110А» и «Геофизика»;

– погодные условия – летний период, скорость ветра до 2 м/с, без осадков.

По результатам инструментальных измерений в каждом пункте наблюдений получено два массива информации: данные измерений уровня звукового давления на стороне спуска улицы и на стороне подъема. Для получения итогового результата (табл. 2) проведена статистическая обработка.

Для сравнения средних двух выборок $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ объема n и $y_1, y_2, y_3, \dots, y_m$ объема m при дополнительном предположении о равенстве дисперсий используется Т-статистика Стьюдента. Проверяется нулевая гипотеза $H_0: M(X) = M(Y)$, то есть устанавливается степень значимости различия выборочных средних $\bar{x}$ и $\bar{y}$, найденных по выборкам [6].

Для проверки при заданном уровне значимости $\alpha=0,05$ нулевой гипотезы H_0 при конкурирующей гипотезе $H_1: M(X) > M(Y)$ вычислено наблюдаемое значение критерия. По таблице критических точек распределения Стьюдента по заданному уровню значимости α и числу степеней свободы $k = n + m - 2$ определена правосторонняя критическая точка. Если наблюдаемое значение критерия меньше критического, то нет оснований отвергать нулевую гипотезу, в противном случае нулевую гипотезу отвергают, в этом случае разница средних значений значима. В случае существенной разницы средних значений проверяется при заданном уровне значимости α гипотеза о величине гипотетической разности и строится доверительный интервал для разницы средних.

Результаты и их обсуждение

Результаты обработки и поправочные данные по основным применяемым моделям сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Различия в уровне звукового давления, генерируемого транспортом
в зависимости от уклона дороги**

Участок улицы	Поправочный коэффициент, зависящий от уклона дороги, дБА		Уровень значимости α	Разница в измерениях между спуском и подъёмом, дБА	Результаты инструментального обследования, дБА	
	МР по учету шумового загрязнения [1]	МГСН 2.04-97 [3], Росавтодор [4]			при спуске	при подъёме
К. Маркса*	+4	+2	0,05	+0,19	71,21	71,4
Кирова*	+4	+2	0,05	+1,4 – +2,7	66,06	68,1
К. Либкнехта	+4	+2	0,05	+0,8 – +1,6	69,9	71,1
В. Чугуевского	+4	+2	0,05	+0,8 – +1,8	74,11	75,36
Пушкинская	+4	+2	0,05	+0,06	69,7	69,76

* участок дороги с наличием трамвайного движения.

В настоящее время при моделировании распространения акустического загрязнения обязательно учитываются особенности рельефа рассматриваемой территории (продольный уклон). Если в 1989 г. он варьировал от 0 до 4 дБА [1], то с 1993 по 2011 г. от 0 до 8 дБА [2-4]. При это поправка прибавляется независимо от стороны уклона или подъёма дороги, коэффициент учитывается одинаково для обеих сторон движения. Очевидно, что на возникающую погрешность расчетов будет влиять ширина дорожного покрытия, скоростной режим дороги и частотный интервал УЗД, зависящий от типа и количества проходящих автомобилей.

Результаты инструментальных измерений по обеим сторонам дорог были заложены в математическую модель, реализующую ОДМ 218.2.013-201 [4].

Расчеты показали закономерное снижение УЗД при удалении от источников шума. При этом начальный отсчет проводился как со стороны подъема, так и спуска, и начинался с расстояния 7,5 м от середины первой полосы движения машин.

Как уже говорилось ранее, УЗД при относительно однородном потоке транспорта с обеих сторон будет отличаться в зависимости от ширины улицы и величины уклона. Это подтверждается ре-

зультатами, отраженными в табл. 2 и рис. 2-4. Разница в значениях УЗД будет стремиться к выравниванию, что можно заметить на представленных рисунках – примерно через 50 м она будет составлять десятые доли децибела. Объясняется это особенностями физического процесса распространения акустических волн. Источники шума могут генерировать в плоские, сферические и цилиндрические волны. Источник шума, генерирующий звуковые колебания *вблизи* резонирующих объектов (например, стенки капота автомобиля), формирует плоскую волну излучения. Точечный источник представляет собой синфазно пульсирующую сферу, радиус которой меньше длины излучаемой звуковой волны (например, отверстия всасывающих и выпускных труб вентиляции). Совокупность сферических источников на протяженном участке формирует цилиндрическую волну.

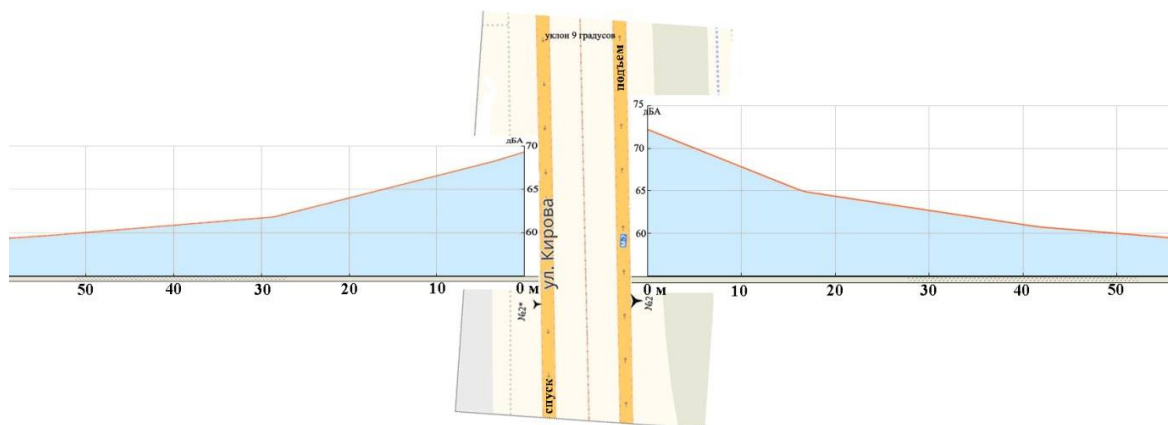


Рис. 2. Снижение УЗД на участке улицы Кирова с учетом пересеченности местности

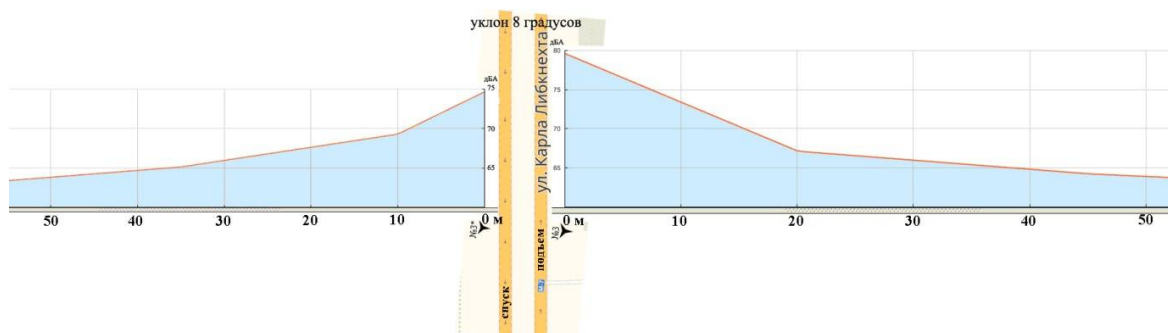


Рис. 3. Снижение УЗД на участке улицы К. Либкнехта с учетом пересеченности местности

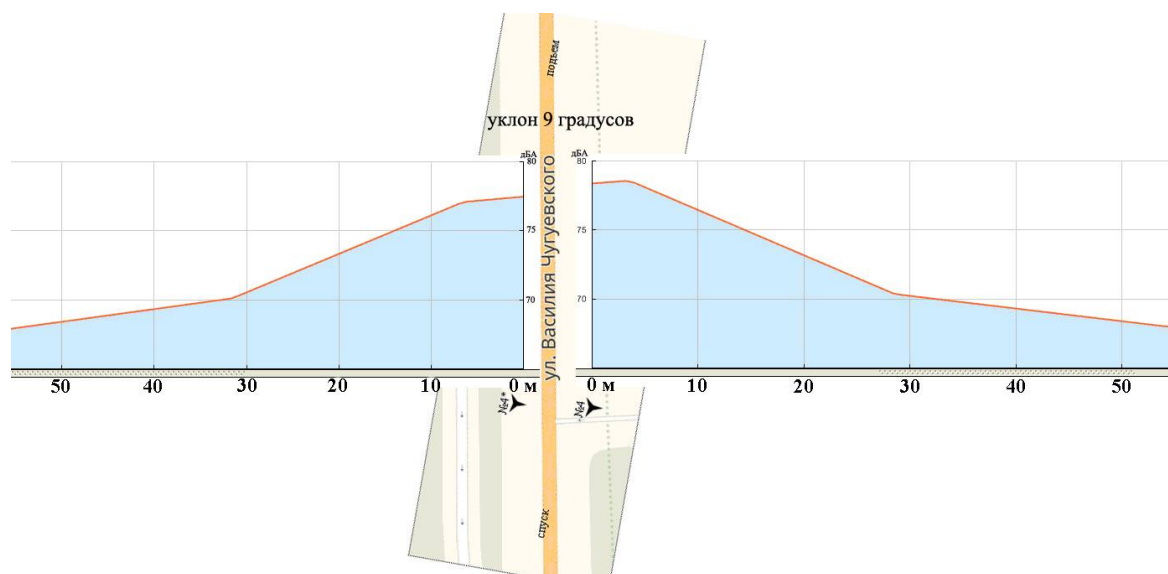


Рис. 4. Снижение УЗД на участке улицы В. Чугуевского с учетом пересеченности местности

Шум машин рассматривается с позиции «цилиндрической» волны, в результате амплитуда звукового давления убывает как $1/\sqrt{r}$ (где r – расстояние). Это соответствует снижению УЗД на 3 дБ при каждом удвоении расстояния от линейного источника (от точечного сферического на 6 дБ) [5].

По результатам обследования и обработки результатов из пяти участков улиц не достаточно достоверными оказались значения на пунктах обследования по ул. К. Маркса и ул. Пушкинская. Это объясняется большим различием в интенсивности машин, двигающихся в разных направлениях на рассматриваемых участках. Как следствие, ожидаемое приращение составило менее 1 дБА. Для ул. Пушкинской дополнительно можно отметить увеличение погрешности в виду близкого расположения зданий. Поэтому, несмотря на подтверждение данной закономерности, в дальнейшем анализе эти два пункта наблюдений не участвовали. В октавных диапазонах изменения звукового давления не рассматривалось.

Заключение

Проведенные исследования показали, что фактор рельефа учитывается при обобщенной оценке шумового загрязнения недостаточно достоверно. По данным наблюдений при 98–99 % преобладании легкового автотранспорта на дорогах с уклоном 9–10 градусов разница в УЗД для «левой» и «правой» стороны дороги будет составлять 1–2 дБА (табл. 2). В практике акустических расчетов допускается погрешность в 2 дБ, но в случае увеличения доли грузового и пассажирского транспорта эта разница будет выше (может достигать 5–8 дБА). Это можно объяснить тем, что движение данных типов машин приурочено к первой и второй полосам движения, к тому же в виду их повышенной грузоподъемности, нагрузка на двигатель (следовательно, более высокий уровень шума) увеличивается, эквивалентный уровень звука возрастет. Учет рельефа будет значимым при уклоне дороги 5 и более градусов.

В условиях рассматриваемого эксперимента зона, где будет наблюдаться разница в эквивалентном уровне звукового давления, составила 50 м. Далее, различия сглаживаются.

В виду того, что красная линия жилой застройки часто располагается значительно ближе 50 м, доля добавочного неучтенного УЗД может оказаться значимой с позиции гигиенического нормирования.

Современное программное обеспечение при моделировании акустического воздействия имеет встроенный алгоритм учета распространения рельефа в площадном выражении. Например, это реализовано в программе «Эколог-шум» версии 2.4.2. (г. Санкт-Петербург, производитель – фирма «Интеграл»). Применительно к конкретным источникам шумового загрязнения это не соответствует требованиям заданной точности, то есть для более детального расчета необходимо рассматривать источники шумового воздействия не от улицы в целом, а с учетом направления движения транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по учету шумового загрязнения в составе территориальных комплексных схем охраны среды городов. Ленинград, 1989. 21 с.
2. Пособие к МГСН 2.04-97 проектирование защиты от транспортного шума и вибраций жилых и общественных зданий. М.: ГУП «НИИЦ», 1999. 25 с.
3. Осипов Г.Л., Коробков В.Е., Климухин А.А. и др. Защита от шума в градостроительстве: справочник проектировщика / под ред. Г.Л. Осипова. М.: Стройиздат, 1993. 96 с.
4. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.013-201. М.: Росавтодор, 2012. 127 с.
5. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Логос, 2013. 432 с.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк., 2004. 407 с.

Поступила в редакцию 29.09.2018

Гагарин Сергей Александрович, старший преподаватель кафедры экологии и природопользования
E-mail: 2002gsa@mail.ru

Романов Леонид Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геодезии и геоинформатики
E-mail: romanovli@mail.ru

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 1)

S.A. Gagarin, L.I. Romanov**EVALUATION OF NOISE PROPAGATION FROM A LINEAR SOURCE WITH REGARD TO LONGITUDINAL SLOPE OF THE ROAD**

The paper considers the features of the application of correction factors that take into account the terrain in the calculation of noise pollution. The results of instrumental measurements from linear noise sources on both sides of the road simultaneously, from the descent and ascent of the movement, were analyzed. In the experiment, we assessed 5 sections of the streets with a gradient of 8–10 degrees. The difference was up to 2 dB. In the mathematical processing of the information array, the level of significance $\alpha=0.05$ of null hypothesis was set. The confidence interval for the difference of averages was defined. It was found that after about 50 meters the difference in the level of sound pressure on both sides of the road is leveled. According to the results of the experiment, it is proposed to take into account the indicators of traffic flow individually for each side of the movement if the slope of relief exceeds 5 degrees.

Keywords: relief, sound pressure level, linear noise source.

REFERENCES

1. *Metodicheskie rekomendacii po uchetu shumovogo zagryazneniya v sostave territorial'nyh kompleksnyh skhem ohrany sredi gorodov* [Methodical recommendations on the account of noise pollution as a part of territorial complex schemes of protection of the environment of the cities], Leningrad, 1989, 21 p.
2. *Posobie k MGSN 2.04-97 proektirovanie zashchity ot transportnogo shuma i vibracij zhilyh i obshchestvennyh zdaniy* [Manual to MGSN 2.04-97 design of protection against transport noise and vibrations of residential and public buildings], M.: GUP "NIAC", 1999, 25 p.
3. Osipov G.L., Korobkov V.E., Klimuhin A.A. et al. *Zaschita ot shuma v gradostroitel'stve (Spravochnik proektirovshika)* [Noise protection in urban planning (designer's guide)] / G.L. Osipova (ed.), M.: Strojizdat, 1993, 96 p.
4. *Metodicheskie rekomendacii po zashchite ot transportnogo shuma territorij, prilgayushchih k avtomobil'nyim dorogam. Otrasevoj dorozhnyj metodicheskij dokument ODM 218.2.013-201* [Guidelines for protection from traffic noise areas adjacent to roads. Branch road methodical document ODM 218.2.013-201], M.: Rosavtodor, 2012, 127 p.
5. Ivanov N.I. *Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika bor'by s shumom: uchebnik. 3-e izd. pererab. i dop* [Engineering acoustics. Theory and practice of noise control: textbook. 3-e izd. rev.], M.: Logos, 2013, 432 p.
6. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics], M.: Vysshaya shkola, 2004, 407 p.

Received 29.09.2018

Gagarin S.A., Senior lecturer at Department of ecology and environmental management
E-mail: 2002gsa@mail.ru

Romanov L.I., Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor at Department
of geodesy and geoinformatics

Udmurt State University

Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034