

УДК 504.61

*С.А. Гагарин, Н.С. Рожихин***ОСОБЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ИНФРАЗВУКА И НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ОТ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ГОРОДА ИЖЕВСКА**

Электрические подстанции являются источниками инфразвука (ИЗ) и низкочастотного шума. Рассмотрено 5 подстанций открытого типа и одна закрытого. Проведены измерения шумомерами «Октава-110А» и «Экофизика 110А» на высоте 1,5 м при скорости ветра менее 2 м/с. Наибольшие значения снижения УЗД характерны для диапазона низких частот 63–125 Гц в интервале 2–6 дБ на 20 м. Инфразвук с частотами 2–16 Гц характеризуется снижением интенсивности УЗД в среднем на 0,5–2 дБ. В большинстве случаев гигиенические нормы по ИЗ и низким частотам на границе прилегающей к электрическим подстанциям жилой зоны, соблюдаются. Наиболее радикальным методом снижения уровня звукового воздействия является установка шумозащитного экрана, показанного на примере подстанции по ул. Щорса.

*Ключевые слова:* инфразвук, низкочастотный шум, электрические подстанции, шумомер.

Электрические подстанции (ЭП) являются одними из множества техногенных источников инфразвука (ИЗ) и низкочастотного шума (НЧШ), встречаемых в пределах селитебных территорий. Часто они располагаются в непосредственной близости от жилой застройки, вследствие чего возможно круглосуточное воздействие ИЗ и НЧШ на население. При повышенных уровнях ИЗ и НЧШ возможно отрицательное влияние на центральную и вегетативную нервную системы, возникновение компрессионно-декомпрессионных эффектов в тканях, а также падение слуховой чувствительности [1; 2]. Источниками ИЗ и НЧШ электрических подстанций являются трансформаторы, а также вентиляторы и масляные насосы, являющиеся составными частями системы охлаждения. Уровни звукового давления (УЗД) пропорциональны мощности трансформаторов и зависят от суточного графика электромагнитной нагрузки и конструкции. Шум трансформаторов обусловлен главным образом вибрацией сердечника, вызываемой явлением магнитострикции [3; 4]. В масляных трансформаторах шум, излучаемый сердечником, передается через масло на стенки бака, а затем излучается поверхностью стенок в окружающее пространство. Шум, излучаемый трансформатором, является тональным, низкочастотным. Наибольшие УЗД сосредоточены в диапазоне частот 8–100 Гц [5; 6]. По данным [7–9] физической особенностью ИЗ и НЧШ является малое поглощение в атмосфере, а именно  $8 \cdot 10^{-5}$  дБ на каждые 100 м для ИЗ [10; 11] и до 0,15 дБ на каждые 100 м для НЧШ [11; 4]. Так как на территории г. Ижевска оценка возможного неблагоприятного акустического воздействия ЭП на прилегающую к ним селитебную территорию в диапазоне частот 2–250 Гц ранее не проводилась, то возникла необходимость проделать данную работу. Оценка характера воздействия осуществлялась посредством сравнения результатов измерений с гигиеническими нормативами, представленными в табл. 1. Помимо этого, было необходимо оценить характер распространения ИЗ и НЧШ, источниками которых являются трансформаторы электроподстанций между пунктами наблюдений.

**Материалы и методы исследований**

Исследования проводились в городе Ижевске в летнее время:

- на территории ЭП открытого типа, расположенной по ул. 9 Января (номер 1 на рис. 1) непосредственно возле 2 трансформаторов напряжением 110 кВ и на удалении 25 м, расстояние от трансформаторов до жилой застройки 40 м;
- на удалении 70 м от 2 трансформаторов напряжением 110 кВ электроподстанции открытого типа, расположенной по проспекту Калашникова (номер 2 на рис. 1), расстояние от трансформаторов до жилой застройки 170 м;
- на удалении 20 м и 40 м от 2 трансформаторов напряжением 110 кВ электроподстанции открытого типа, расположенной по ул. Рабочая (номер 3 на рис. 1), расстояние от трансформаторов до жилой застройки 50 м;
- на удалении 90 м от 2 трансформаторов напряжением 110 кВ электроподстанции открытого типа, расположенной по ул. Мельничная (номер 4 на рис. 1), расстояние от трансформаторов до жилой застройки 200 м;

– на удалении 10 м и 20 м от электроподстанции закрытого типа, расположенной по ул. Барышникова (номер 5 на рис.), расстояние от здания подстанции до жилой застройки 60 м. Внутри здания подстанции находятся 3 трансформатора напряжением 10 кВ каждый;

– на территории электрической подстанции открытого типа, расположенной по ул. Щорса (номер 6 на рис. 1) непосредственно возле 3 трансформаторов и на удалении 60 м, расстояние от трансформаторов до жилой застройки 25 м.



- |  |  |
|--|--|
| ① ЭП открытого типа по ул. 9 Января          | ④ ЭП открытого типа по ул. Мельничной  |
| ② ЭП открытого типа по проспекту Калашникова | ⑤ ЭП закрытого типа по ул. Барышникова |
| ③ ЭП открытого типа по ул. Рабочей           | ⑥ ЭП открытого типа по ул. Щорса       |

Рис. 1. Схема расположения точек измерений на территории г. Ижевска

Таблица 1

**Предельно допустимые уровни (ПДУ) низкочастотного шума и инфразвука**

Место применения норматива	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				УЗД экв., дБА	УЗД макс., дБА
	31,5	63	125	250		
Дневное время						
Территория, непосредственно прилегающая к жилым домам <sup>1</sup>	90	75	66	59	55	70
Место применения норматива	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				Общий УЗД, дБ Лин	
	2	4	8	16		
Территория, непосредственно прилегающая к жилым домам <sup>2</sup>	90	85	80	75	90	

<sup>1</sup> Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.583-96. М.: Минздрав РФ, 1996. С. 19.

<sup>2</sup> Там же. С. 8.

Измерения проводились при помощи шумомеров-анализаторов «Октава-110А» и «Экофизика 110А» на высоте 1,5 м, в момент отсутствия влияния других техногенных источников ИЗ и НЧШ, а также при положительных температурах воздуха и отсутствии осадков, скорости ветра до 2 м/с. Точки проведения измерений выбирались с учетом минимального воздействия, отраженного от зданий и сооружений звука на результат.

### Результаты и их обсуждение

Полученные в результате исследования данные представлены ниже в виде таблиц, в которых для сравнения также представлены значения ПДУ.

Анализируя данные, представленные в табл. 2-7, можно сказать, что на территории электроподстанций открытого типа отмечаются превышения ПДУ ИЗ и НЧШ в непосредственной близости от трансформаторных установок. При наличии 2 трансформаторов превышения отмечаются в низкочастотной области спектра, при наличии 3 трансформаторов превышения отмечаются уже и в инфразвуковой области. Однако на селитебной территории, прилегающей к электроподстанциям, УЗД ИЗ и НЧШ находятся в пределах, установленных гигиеническими нормативами. Данная ситуация объясняется тем, что территории подстанций ограничены бетонным забором высотой более 2 м, который поглощает и отражает часть акустической энергии в слышимом диапазоне частот. Также на подстанции, расположенной по ул. Щорса, где отмечены высокие значения ИЗ, были установлены акустические экраны, что, по-видимому, позволило ограничить воздействие ИЗ на селитебную территорию. Более того, непосредственно в пределах жилой застройки УЗД вероятно окажутся еще более низкими по сравнению с зафиксированными значениями, при условии отсутствия влияния других источников ИЗ и НЧШ.

Таблица 2

#### Результаты измерений ИЗ и НЧШ на территории, расположенной по ул. 9 Января, дБ

Расстояние от трансформаторов, м	Частота, Гц							
	2	4	8	16	31,5	63	125	250
1	75,6	72,8	68,0	62,3	67,7	61,1	83,5	73,4
25	57,2	54,6	48,1	52,5	53,6	51,5	50,9	46,6
ПДУ	90,0	85,0	80,0	75,0	90,0	75,0	66,0	59,0

Таблица 3

#### Результаты измерений ИЗ и НЧШ на территории, расположенной по проспекту Калашникова, дБ

Расстояние от трансформаторов, м	Частота, Гц							
	2	4	8	16	31,5	63	125	250
70	59,1	51,8	50,4	52,7	56,7	58,3	56,2	47,0
ПДУ	90,0	85,0	80,0	75,0	90,0	75,0	66,0	59,0

Таблица 4

#### Результаты измерений ИЗ и НЧШ на территории, прилегающей к подстанции, расположенной по ул. Рабочая, дБ

Расстояние от трансформаторов, м	Частота, Гц							
	2	4	8	16	31,5	63	125	250
25	76,5	70,6	65,3	61,6	59,2	59,1	63,8	64,7
50	75,1	69,0	63,5	61,4	57,9	58,5	59,0	59,0
ПДУ	90,0	85,0	80,0	75,0	90,0	75,0	66,0	59,0

Таблица 5

#### Результаты измерений ИЗ и НЧШ на территории, расположенной по ул. Мельничная, дБ

Расстояние от трансформаторов, м	Частота, Гц							
	2	4	8	16	31,5	63	125	250
90	75,9	73,9	65,2	61,5	61,0	56,2	50,5	46,4
ПДУ	90,0	85,0	80,0	75,0	90,0	75,0	66,0	59,0

Таблица 6

Результаты измерений ИЗ и НЧШ на территории, прилегающей к подстанции, расположенной по ул. Барышникова, дБ

Расстояние от трансформаторов, м	Частота, Гц							
	2	4	8	16	31,5	63	125	250
1	73,7	69,2	62,6	55,3	54,6	59,0	53,0	49,3
20	72,1	67,3	60,9	51,3	54,5	53,5	48,2	47,9
ПДУ	90,0	85,0	80,0	75,0	90,0	75,0	66,0	59,0

Таблица 7

Результаты измерений ИЗ и НЧШ на территории, прилегающей к подстанции, расположенной по ул. Щорса, дБ

Расстояние от трансформаторов, м	Частота, Гц							
	2	4	8	16	31,5	63	125	250
2	100,32	95,39	90,1	72,16	64,72	58,36	74,68	69,6
60	67,61	59,43	54,85	55,43	62,05	60,52	48,46	42,38
ПДУ	90,0	85,0	80,0	75,0	90,0	75,0	66,0	59,0

В точках 1, 3, 5, 6 измерения УЗД проводились в нескольких пунктах, первый устанавливался в непосредственной близости от источника, второй – на некотором удалении. Тем самым определялось значение снижения УЗД ИЗ и НЧШ в каждом конкретном случае. Значения, на которые изменились УЗД между пунктами измерений, представлены в табл. 8 и на рис. 2-9.

Таблица 8

Изменения УЗД между пунктами измерений, дБ

Номер точки	Расстояние между пунктами измерений, м	Частота, Гц							
		2	4	8	16	31,5	63	125	250
1	24	-18,4	-18,2	-19,9	-9,8	-14,1	-9,6	-32,6	-26,8
3	25	-1,4	-1,6	-1,8	-0,2	-1,3	-0,6	-4,8	-5,7
5	19	-1,6	-1,9	-1,7	-4,0	-0,1	-5,5	-4,8	-1,4
6	58	-32,7	-36,0	-35,3	-16,7	-2,7	2,2	-26,2	-27,2

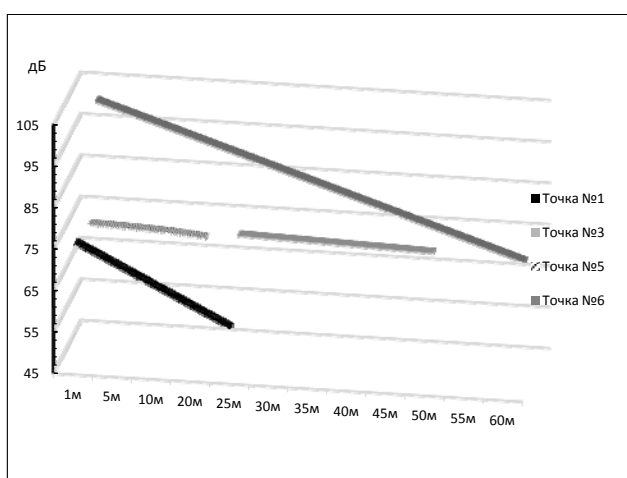


Рис. 2. Изменения УЗД между пунктами измерений для частоты 2 Гц

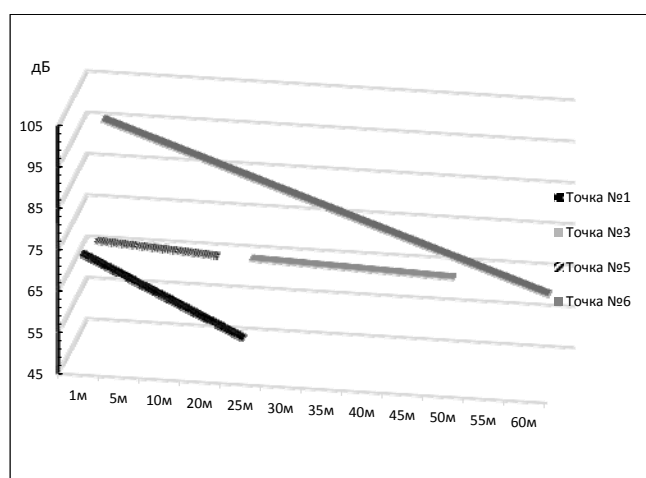


Рис. 3. Изменения УЗД между пунктами измерений для частоты 4 Гц

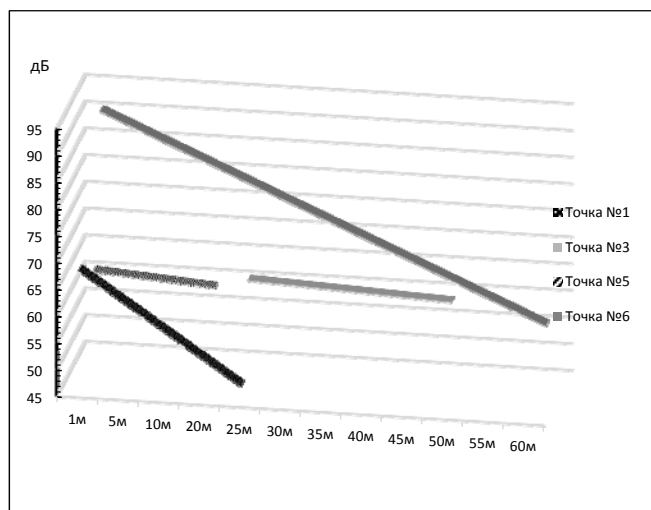


Рис. 4. Изменения УЗД между пунктами измерений для частоты 8 Гц

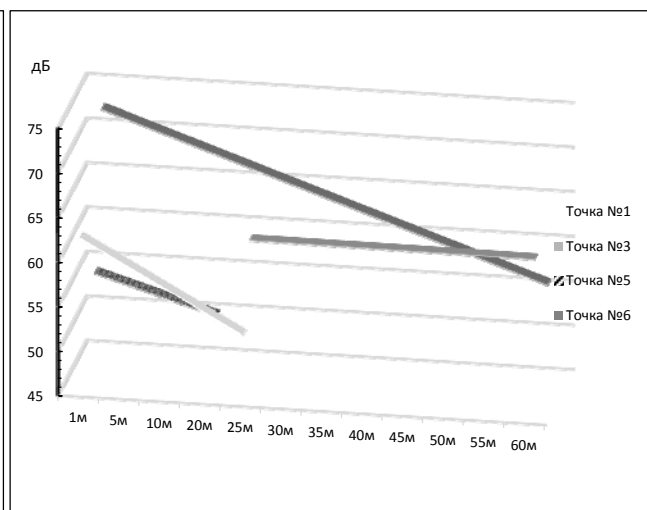


Рис. 5. Изменения УЗД между пунктами измерений для частоты 16 Гц

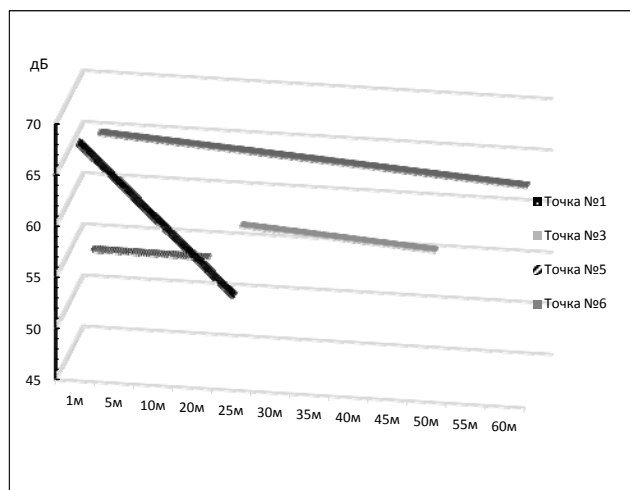


Рис. 6. Изменения УЗД между пунктами измерений для частоты 31,5 Гц

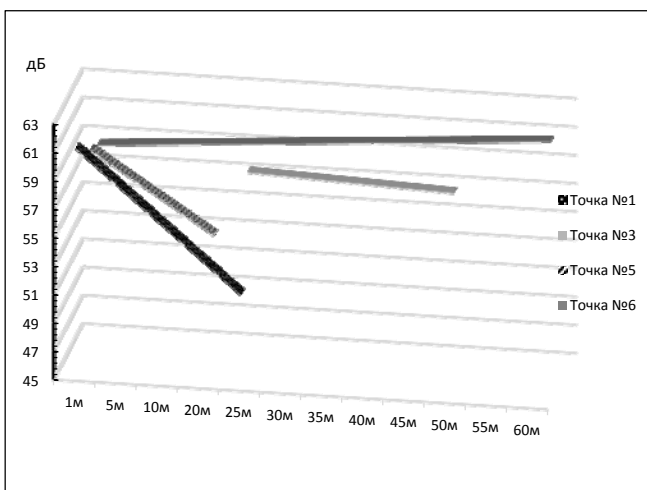


Рис. 7. Изменения УЗД между пунктами измерений для частоты 63 Гц

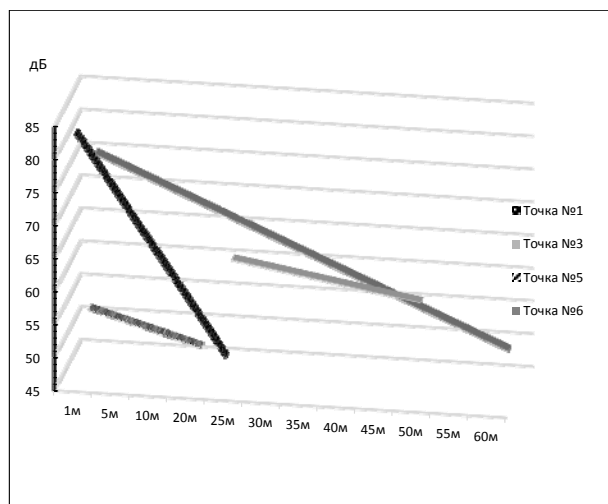


Рис.8. Изменения УЗД между пунктами измерений для частоты 125 Гц

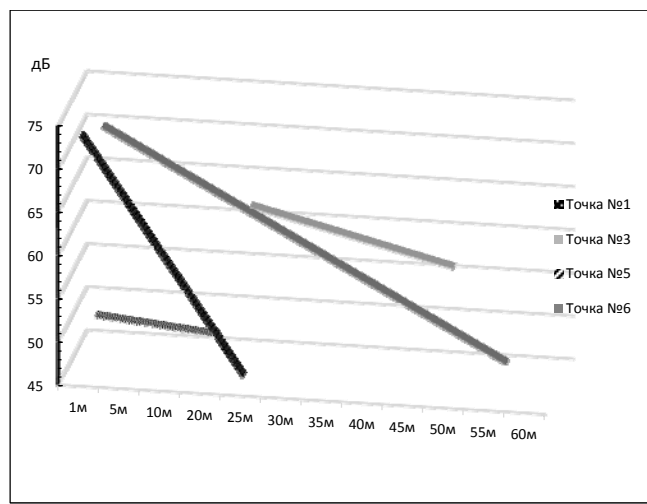


Рис. 9. Изменения УЗД между пунктами измерений для частоты 250 Гц

Следует отметить, что для всех точек, кроме точки 6 (подстанция по ул. Щорса), характерно наибольшее снижение УЗД между пунктами наблюдений в диапазоне частот 63–250 Гц. Наибольшее снижение УЗД в диапазоне частот 63–250 Гц объясняется большими значениями коэффициента звукопоглощения в воздухе для данного диапазона частот, по сравнению с ИЗ. По данным [4; 12] при распространении звука от источника в свободной атмосфере, через 100 м УЗД диапазона частот 63–250 Гц снижаются на 0,15–0,07 дБ. Для ИЗ при тех же условиях снижение УЗД составляет всего  $8 \cdot 10^{-5}$  дБ [9; 11]. Для точки 6 характерно наибольшее снижение УЗД в диапазоне 2–8 Гц, возможно сложившуюся ситуацию объясняет наличие акустических экранов в непосредственной близости от трансформаторных установок.

## Выводы

1. На территории электрических подстанций открытого типа, на высоте 1,5 м отмечаются превышения ПДУ ИЗ и НЧШ на расстоянии до 2 м от трансформаторных установок, однако на расстоянии 50 м УЗД не превышают допустимых уровней.

2. Установка акустического экрана позволяет минимизировать акустическое воздействие трансформаторов на прилегающую к электрическим подстанциям территорию. Показательным образом может служить применение акустического экрана на ПС по ул. Щорса, который позволил значительно снизить акустическую нагрузку на ближайший жилой дом.

3. При отсутствии акустических экранов в непосредственной близости от трансформаторных установок наибольшие значения снижения УЗД характерны для диапазона частот 63–125 Гц вследствие больших значений коэффициента звукопоглощения в свободной атмосфере для данного диапазона частот, а именно 0,07–0,15 дБ на 100 м. Кроме того, УЗД снизились за счет поглощения звуковой энергии подстилающей поверхностью, однако достоверных данных, учитывающих влияние данного фактора, нет.

4. В сравнении с другими источниками техногенного ИЗ и НЧШ, такими как, городской транспорт [13–15] и некоторые виды технологических процессов на производстве, электрические подстанции оказывают сопоставимое акустическое воздействие на окружающую среду в области ИЗ и значительно меньшее в области НЧШ. Однако ввиду своих размеров электроподстанции оказывают акустическое воздействие на значительно меньшую территорию города, нежели промышленные предприятия или транспортные пути.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борьба с шумом на производстве: справочник / под ред. Е.Я. Юдина. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
2. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Драган С.П., Ахметзянов И.М. Кумулятивные медико-экологические эффекты сочетанного действия шума и инфразвука // Экология и промышленность России. 2012. №3. С. 46–49.
3. Самойлюк Е. П. Борьба с шумом в градостроительстве. Киев: «Будівельник». 1975. 125 с.
4. Лазароуи Д.Ф., Бикир Н. Шум электрических машин и трансформаторов. М.: Энергия, 1973. 272 с.
5. Рекомендации по применению шумовых характеристик оборудования для расчета шума в жилой застройке. М.: Моспроект, 1983. 210 с.
6. Сериков Я.А., Долгополова А.С. Карты шума как инструментарий в решении задачи снижения уровня шума городских трансформаторных подстанций // Сб. тр. XXVII Сессии РАО и Сессии научного Совета РАН по акустике. СПб., 2014. С. 1141–1147.
7. Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Драган С.П. Актуальные проблемы защиты населения от низкочастотного шума и инфразвука // Технологии гражданской безопасности. 2015. Т.12, № 1 (43). С. 90–96.
8. Справочная книга по охране труда в машиностроении / под ред. О.Н. Русака. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1989. 541 с.
9. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М. Экологические, производственные и медицинские аспекты инфразвука // Защита от повышенного шума и вибрации: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. Н.И. Иванова. СПб., 2013. С. 177–198.
10. Ахметзянов И.М., Гребеньков С.В., Ломов О.П. Шум и инфразвук. Гигиенические аспекты. СПб.: Бип, 2002. 100 с.
11. Соловьев Л.П. Система мониторинга инфразвуковых колебаний на селитебных территориях населенных пунктов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 1. С. 64–67.
12. Алексеев С.П., Казаков А.М., Колотилов Н.Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. М.: Машиностроение, 1970. 208 с.

13. Гагарин С.А., Рожихин Н.С. Воздействие на окружающую среду инфразвука и низкочастотного шума трамваев на примере города Ижевска // Защита от повышенного шума и вибрации: докл. V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Айсинг, 2015. С. 419-423.
14. Гагарин С.А., Рожихин Н.С., Романов Л.И. Трамвай как источник низкочастотного звука и инфразвука // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, № 4. С. 7-13.
15. Гагарин С.А., Рожихин Н.С. Транспорт как источник инфразвука на территории г. Ижевска // Вопросы прикладной и региональной географии и экологии: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ижевск: Удм. ун-т, 2014. С. 175-181.

Поступила в редакцию 16.10.17

**S.A. Gagarin, N.S. Rozhihin**

#### **PECULIARITIES OF RADIATION OF INFRASOUND AND LOW FREQUENCY OSCILLATIONS FROM THE TRANSFORMING SUBSTATIONS IN THE CITY OF IZHEVSK**

Electrical substations are sources of infrasound and low frequency noise. Five outdoor-type substations and one indoor-type substation were considered. Measurements with sound level meters "Oktava-110A" and "Ekofizika 110A" at a height of 1.5 m at a wind speed of less than 2 m/s were carried out. The maximum value of the decrease in ultrasound is characteristic of the low frequency range 63–125 Hz in the interval 2-6 dB at 20 m. Infrasound with frequencies 2-16 Hz is characterized by a decrease in the intensity of the ultrasound by 0.5-2 dB in average. In most cases, hygienic standards concerning infrasound and low frequencies on the border of a residential zone adjacent to electrical substations are met. The most radical method of reducing the level of sound exposure is the installation of a noise screen, shown on the example of the substation on the Shors street.

*Keywords:* infrasound, low frequency noise, electrical substation, noise meter.

#### REFERENCE

1. *Bor'ba s shumom na proizvodstve: Spravochnik* [Combating noise in production: Handbook], E.Ja. Judin (ed.), M.: Mashinostroenie, 1985, 400 p. (in Russ.)
2. Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Dragan S.P. and Ahmetzjanov I.M. [Cumulative medico-ecological effects of the combined effect of noise and infrazuka], in *Ekologija i promyshlennostj Rossii*, 2012, no. 3, pp. 46-49 (in Russ.)
3. Samojljuk E.P. *Bor'ba s shumom v gradostroitel'stve* [Fighting noise in urban planning], Kiev, "Budivel'nik", 1975, 125 p. (in Russ.)
4. Lazaroiu D.F. and Bikir N. *Shum elektricheskikh mashin i transformatorov* [Noise of electric machines and transformers], M.: Energija, 1973, 272 p. (in Russ.)
5. *Rekomendacii po primeneniju shumovykh harakteristik oborudovanija dlja rascheta shuma v zhiloj zastrojke* [Recommendations on the application of noise characteristics of equipment for the calculation of noise in residential buildings], M.: Mosproekt, 1983, 210 p. (in Russ.)
6. Serikov Ja.A. and Dolgoplova A.S. [Noise maps as a tool for solving the problem of noise reduction of urban transformer substations], in *Sb. tr. HHVII Sessii RAO i Sessii nauchnogo Soveta RAN po akustike*, SPb., 2014, pp. 1141-1147 (in Russ.)
7. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Bogomolov A.V. and Dragan S.P. [Actual problems of protecting the population from low-frequency noise and infrasound], in *Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 2015, vol.12, no. 1 (43), pp. 90-96 (in Russ.)
8. *Spravochnaja kniga po ohrane truda v mashinostroenii* [Reference book on labor protection in engineering], O.N. Rusak (ed.), L.: Mashinostroenie. Leningr. otdelenie, 1989, 541 p. (in Russ.)
9. Zinkin V.N. and Ahmetzjanov I.M. [Environmental, industrial and medical aspects of infrasound], in *Sb. dokl. Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem «Zaschita ot povyshennogo shuma i vibracii», 26-28 marta 2013 g.*, SPb., N. I. Ivanov (ed.), SPb., 2013, pp. 177-198 (in Russ.)
10. Ahmetzjanov I.M., Greben'kov S.V. and Lomov O.P. *Shum i infrazvuk. Gigienicheskie aspekty* [Noise and infrasound. Hygienic aspects], SPb.: Bip, 2002, 100 p. (in Russ.)
11. Solov'ev L.P. [Monitoring system of infrasonic oscillations in residential areas of settlements], in *Mashinostroenie i bezopasnostj zhiznedejatel'nosti*, 2014, no. 1, pp. 64-67 (in Russ.)
12. Alekseev S.P., Kazakov A.M. and Kolotilov N.N. *Bor'ba s shumom i vibraciej v mashinostroenii* [Combating noise and vibration in mechanical engineering], M.: Mashinostroenie, 1970, 208 p. (in Russ.)
13. Gagarin S. A. and Rozhihin N. S. [Influence on the environment of infrasound and low-frequency noise of tram-wei on the example of the city of Izhevsk], in *Doklady V Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem «Zaschita ot povyshennogo shuma i vibracii» (Rossija, Sankt-Peterburg, 18-20 marta 2015 g.)*, N.I. Ivanov (ed.), SPb.: Ajsing, 2015, pp. 419-423 (in Russ.)

14. Gagarin S.A., Rozhihin N.S. and Romanov L.I. [Tram as a source of low-frequency sound and infrasound], in *Vestn. Udm. un-ta. Ser. Biologija. Nauki o Zemle*, 2015, vol. 25, no. 4, pp. 7-13 (in Russ.)
15. Gagarin S.A. and Rozhihin N.S. [Transport as a source of infrasound in the territory of Izhevsk], in *Mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem «Voprosy prikladnoj i regional'noj geografii i ekologii»*, Izhevsk: Udmurtskij Universitet, 2014, pp. 175-181 (in Russ.)

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

Рожихин Никита Сергеевич,  
аспирант кафедры экологии и природопользования  
E-mail: nikita.rozhikhin@mail.ru

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

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

Rozhihin N.S., Postgraduate student at Department  
of ecology and environmental management  
E-mail: nikita.rozhikhin@mail.ru

Udmurt State University  
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034