

УДК 537.636+577.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО МАГНИТНОГО ШУМА НИЗКИХ ЧАСТОТ ПО ПЛОЩАДИ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

© 2017 г. Д.С. Тягунов

Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Проведено измерение техногенного магнитного шума в частотном диапазоне 0.01–200 Гц в дневное время в пределах центральной части г. Екатеринбург, объездной дороги города и Екатеринбургской кольцевой автомобильной дороги. На основании этих измерений определен модуль магнитной индукции и построена карта-схема распределения техногенного магнитного шума по площади г. Екатеринбург и в его окрестностях. Показано, что магнитный шум сосредоточен в центральных районах города и по амплитуде может достигать ~1500 нТл. В районах вблизи кольцевой автомобильной дороги магнитный шум спадает до 150 нТл. Приведены также примеры записей техногенного магнитного шума, создаваемого линиями электропередач и электропоездами метрополитена. На них видно, что амплитуда магнитного шума, создаваемая этими источниками, значительно превышает среднюю интенсивность магнитного шума центральной части города.

Ключевые слова: техногенный магнитный шум, электромагнитный шум, магнитная индукция, источники техногенного магнитного шума.

PACS 93.85.+q, 93.85.Jk

Введение

Исследованию низкочастотного электромагнитного шума техногенного происхождения в последнее время стали уделять большое внимание, особенно в индустриальных городах [Беляев и др., 2003; Колесник и др., 2007; Уткин и др., 2010; Уткин, Тягунов, 2013; Стивак и др., 2016]. Это связано с непрерывно возрастающей интенсивностью техногенных электромагнитных полей по причине увеличения энергоёмкости промышленного и бытового секторов мегаполисов, поскольку именно там идет расширение жилых секторов в виде плотной застройки, развитие всех видов городского и пригородного транспорта, особенно на электрической тяге, включая метрополитен, расширение сети линий электропередач (ЛЭП). В подобных условиях усложняются работы

с применением геофизических методов поисков и разведки, которые необходимы для решения широкого круга задач. В районах, сильно зашумленных техногенным электромагнитным шумом, сложно использовать электромагнитные методы в инженерной геофизике. Трудно давать прогноз геомагнитной активности, проводить наблюдения и исследования вариаций геомагнитного поля геофизическим обсерваториям, поскольку с появлением интенсивных промышленных помех данные наблюдений не совсем корректны. Так, например, измеряемые обсерваторией Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), расположенной вблизи такого крупного промышленного города, как Москва, индексы геомагнитной активности (A и K), на которых основана оценка текущего состояния магнитосферы Земли, могут быть искажены техногенным электромагнитным шумом города [Сокол-Кутыловский, Тягунов, 2012]. Техногенный магнитный шум, создаваемый различными электромагнитными источниками крупных городов, преимущественно сосредоточен в области частот 0.01–100 Гц и многократно превышает по амплитуде вариации геомагнитного поля в данном диапазоне частот [Тягунов, Сокол-Кутыловский, 2016].

Целью настоящей работы является изучение распределения техногенного магнитного шума по площади крупного промышленно развитого города Екатеринбург. Для этого выполнялись магнитометрические измерения составляющих вектора магнитной индукции исследуемой территории в диапазоне частот 0.01–200 Гц. По полученным данным построена карта-схема распределения магнитного шума, который создается совокупностью всех техногенных источников урбанизированной территории.

Используемая аппаратура

Для измерения амплитуды магнитного шума использовался трехкомпонентный преобразователь магнитной индукции. Диапазон частот измеряемого сигнала – 0.01–200 Гц. Порог чувствительности в указанном диапазоне частот – не более 1 пТл при коэффициенте преобразования 62.05 мВ/нТл. Выходные сигналы датчика магнитной индукции подавались на многоканальный 24-разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) AD7734, выход которого соединен с переносным компьютером, управляющим работой АЦП и сохраняющим данные измерений в цифровом виде в отдельном текстовом файле [Сокол-Кутыловский, 2009; Тягунов, Сокол-Кутыловский, 2016].

Методика измерений и обработки результатов

Измерения амплитуды магнитного поля в городской среде Екатеринбурга и окрестностях проводились следующим образом. Одна из горизонтальных компонент – B_x – была направлена по магнитному меридиану, компонента B_y – ортогональна магнитному меридиану, составляющая магнитной индукции B_z – вертикально. Выравнивание составляющих B_x и B_y относительно горизонтальной плоскости осуществлялось с помощью уровня, встроенного в корпус датчика. Сам датчик располагался на немагнитном штативе вдали от явных локальных источников электромагнитного шума (дорог для автомобильного транспорта, ЛЭП, линий и станций метрополитена, электротранспорта, трансформаторных подстанций, потребителей энергии промышленной частоты и т.п.). Время регистрации шумового сигнала в каждой точке измерения составляло 30 мин. Для построения карты-схемы распределения техногенного магнитного шума по площади г. Екатеринбург и в его окрестностях было проведено более 70 измерений. При этом координаты точек измерения фиксировались с помощью GPS-приемника.

Построение карты-схемы распределения городского техногенного магнитного шума выполнено в геоинформационной системе GoldenSoftwareSurfer 8.0 с применением геостатистического метода (kriging). Поскольку выбранный метод основывается на вероятностной модели, рассматривающей изучаемую пространственную переменную $Z(X, Y)$ как реализацию случайной функции $Z(X, Y)$, это позволяет учитывать пространственную корреляцию данных и дает возможность создать более точную модель поверхности. Для моделирования взяты средние значения модуля магнитной индукции $|\mathbf{B}|$ каждой точки измерения, которые определяются по средним значениям амплитуд компонент магнитной индукции B_x, B_y, B_z :

$$|\hat{\mathbf{A}}| = \sqrt{\overline{B_x^2} + \overline{B_y^2} + \overline{B_z^2}}.$$

Построенное в геоинформационной системе распределение магнитного шума г. Екатеринбург и окрестностей при помощи векторного графического редактора CorelXara 2.0 было наложено на карту города. За основу была взята карта города в масштабе 1 : 600 000. В этом же редакторе был построен контур карты с объездной дорогой города и Екатеринбургской кольцевой автомобильной дорогой (ЕКАД).

Результаты измерений и их обсуждение

Чтобы не исказить общее распределение техногенного магнитного шума по площади города, значения амплитуды модуля магнитной индукции, полученные от силовых ЛЭП и метрополитена, при построении карты-схемы не учитывались. Не учитывалось также влияние магнитного шума от железнодорожного транспорта. Примеры помех, создаваемых ЛЭП и метрополитеном, представлены отдельно на рис. 1–3.

Из данных, приведенных на рис. 1, видно, что магнитный шум от электропоездов метрополитена имеет импульсный характер, амплитуда которого от пика до пика по горизонтальным составляющим магнитной индукции B_x, B_y может составлять до 4000–6000 нТл, вертикальной B_z – до 10 000 нТл, $|\mathbf{B}|$ – до 10 500 нТл [Тягунов, 2016].

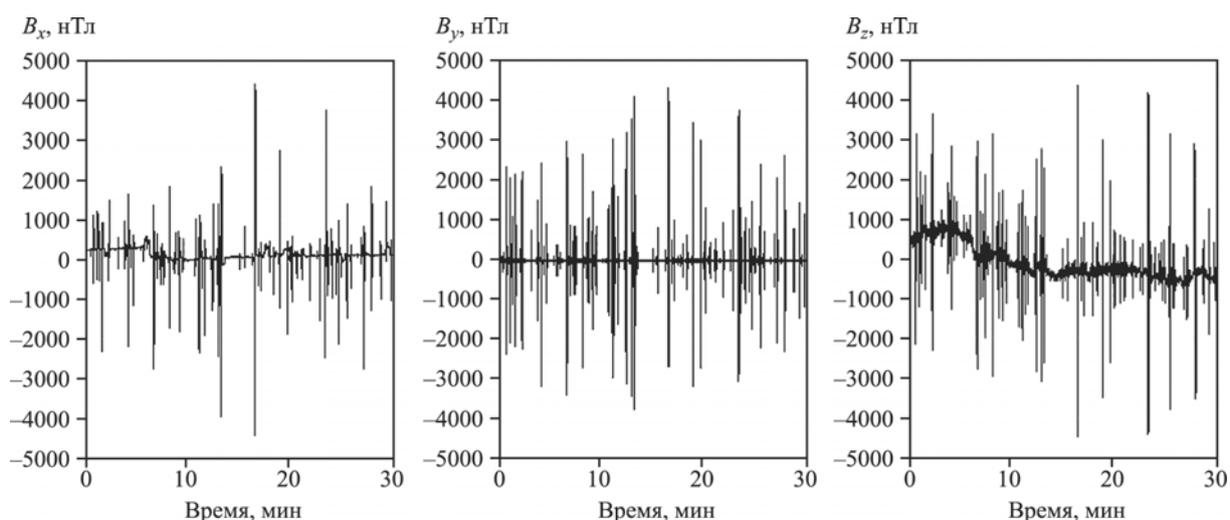


Рис. 1. Фрагмент типичной трехкомпонентной записи магнитного шума электропоездов метрополитена г. Екатеринбург, зарегистрированный в дневное время на расстоянии ~15 м от станции «Уральская»
Длительность записи – 30 мин

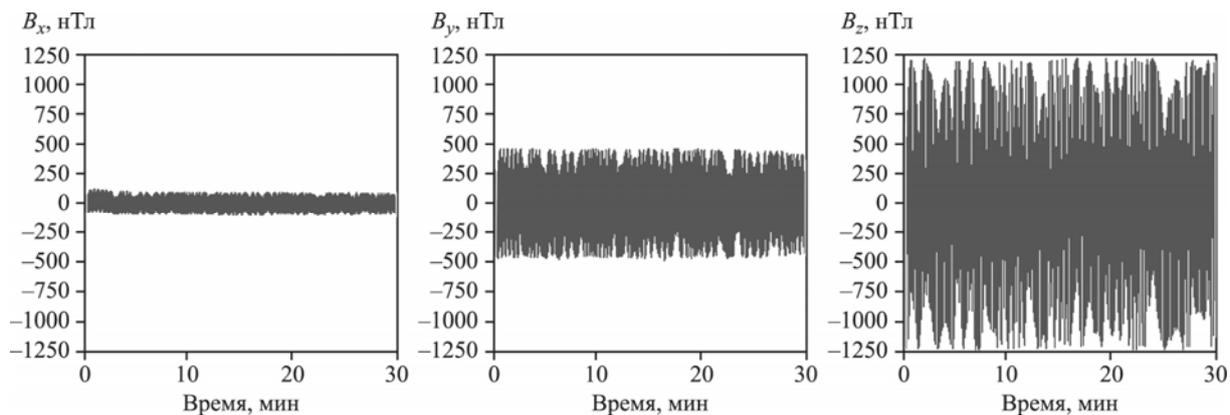


Рис. 2. Амплитуда магнитного шума составляющих магнитной индукции, зарегистрированного в дневное время в г. Екатеринбург на расстоянии ~ 5 м от ЛЭП
Длительность записи – 30 мин

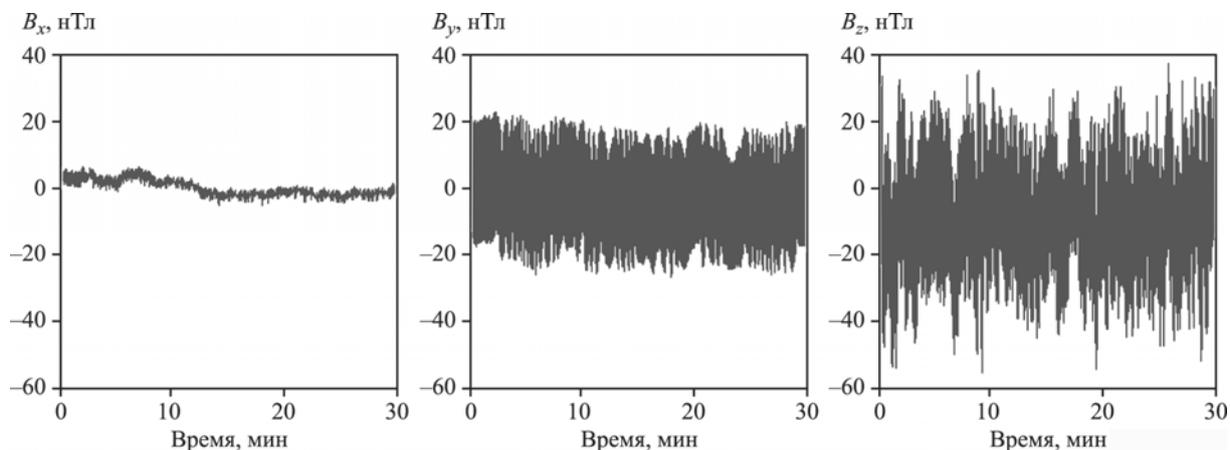


Рис. 3. Амплитуда магнитного шума составляющих магнитной индукции, зарегистрированного в дневное время в г. Екатеринбург на расстоянии ~ 150 м от ЛЭП
Длительность записи – 30 мин

На рис. 2, 3 приведены фрагменты записи амплитуды магнитного шума, создаваемого ЛЭП напряжением 500 кВ. Помехи, вызываемые ЛЭП, создаются в основном за счет частоты 50 Гц и ее гармоник. Поскольку ЛЭП – это локальный источник по отношению ко всей площади города (как и электропоезда метро), магнитный шум, как правило, сосредоточен вблизи них. Из данных, приведенных на рис. 2, видно, что на расстоянии ~ 5 м от ЛЭП амплитуда магнитного шума (от пика до пика) по горизонтальным составляющим B_x , B_y может составлять 300–900 нТл, вертикальной B_z – до 2500 нТл, $|\mathbf{B}|$ – до 2700 нТл. С увеличением расстояния амплитуда магнитного шума, создаваемая ЛЭП, резко падает и по составляющим B_x , B_y составляет 8–40 нТл, по вертикальной B_z – 80 нТл, $|\mathbf{B}|$ – 90 нТл (см. рис. 3). В работе [Колесник и др., 2007] были получены близкие значения $|\mathbf{B}|$ (2500 нТл), определенные по измерению магнитных составляющих под линиями высоковольтных передач и вблизи кабельных сооружений, расположенных в южном районе г. Томск.

Помехи, создаваемые железнодорожным транспортом на расстоянии ~ 350 м, по вертикальной компоненте составили 70 нТл [Вишнев, 2003]. При этом следует отметить, что полоса пропускания прибора, с помощью которого были получены записи магнит-

ного шума в работе [Вишневу, 2003], ограничена сверху частотой ~ 1 Гц. При расширении полосы пропускания до сотен герц и расстоянии от измерительного прибора до железнодорожного полотна ~ 5 м амплитуда вертикальной составляющей во много раз возрастает и может составить 10 000 нТл и более.

Полученная в результате измерений карта-схема распределения городского техногенного магнитного шума г. Екатеринбург представлена на рис. 4. В качестве отдельных источников электромагнитного шума на карту были нанесены силовые ЛЭП напряжением 500 кВ, расположенные в пределах кольцевой автомобильной дороги, линия метрополитена и железная дорога.

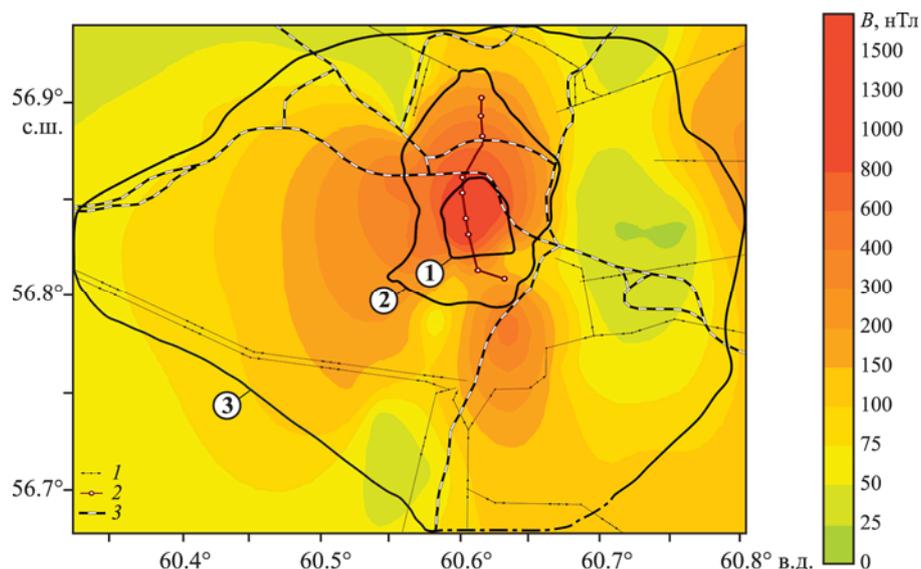


Рис. 4. Карта-схема распределения техногенного магнитного шума по площади г. Екатеринбург

1 – линии электропередач; 2 – линия метрополитена; 3 – железная дорога. Цифры в кружках: 1 – центр города; 2 – объездная дорога; 3 – кольцевая автомобильная дорога (пунктирной линией обозначен отсутствующий в настоящее время участок дороги)

Из данных, приведенных на рис. 4, видно, что создаваемый промышленным городом магнитный шум распределен по исследуемой территории неравномерно. Он сосредоточен в основном в центральных районах города и окрестностях объездной дороги, где среднее значение амплитуды магнитного шума по горизонтальным составляющим магнитной индукции B_x , B_y составляет 150–500 нТл, по вертикальной B_z – до 800 нТл, $|\mathbf{B}|$ – до 1500 нТл. Такие значения амплитуды магнитного шума обусловлены тем, что на этих участках город потребляет наибольшее количество электроэнергии, поскольку здесь расположены производственные и перерабатывающие предприятия и организации, проходят линии электропередач постоянного и переменного тока, железнодорожные линии электрической тяги высокого напряжения (включая трамваи, троллейбусы). Именно там сосредоточен городской и пригородный автотранспорт, представляющий собой движущиеся ферромагнитные и электромагнитные источники, имеющие собственный магнитный момент, который при перемещении в пространстве или при вращении создает изменение магнитного поля, влияющее на магнитное поле в данной точке на поверхности Земли. Кроме этого, в пределах центральных районов города и их окрестностях имеется развитая энергоемкая инфраструктура сферы услуг, крупные жилые дома с достаточно плотной застройкой, трансформаторные подстанции и т.п. Все это требует огромного количества электрической энергии. Среднее потребление электриче-

ской мощности крупного индустриального города может превышать 1000 МВт при большой протяженности линий электропередач и кабельных линий электропитания.

За пределами объездной дороги, в окрестностях ЕКАД, где отсутствуют мощные источники индустриальных помех, городской магнитный шум заметно меньше, при этом среднее значение по горизонтальным компонентам магнитного поля B_x , B_y составило от 10 до 60 нТл, вертикальной B_z – до 100 нТл, $|\mathbf{B}|$ – до 150 нТл (см. рис. 4).

Несмотря на то что техногенный магнитный шум крупных индустриальных городов создается совокупностью всех техногенных источников, отдельные локальные источники этого шума (ЛЭП, метрополитен, железнодорожный транспорт) могут значительно превышать среднюю интенсивность магнитного шума центральной части города. При этом амплитуда вертикальной составляющей магнитного шума, как правило, больше амплитуды горизонтальных составляющих.

Резюме

Анализ полученных в ходе исследований данных показывает, что создаваемый г. Екатеринбург магнитный шум техногенного происхождения сосредоточен в основном в его центральных районах и в окрестностях объездной дороги (см. рис. 4). В дневное время он может достигать по модулю магнитной индукции ~1500 нТл в диапазоне частот 0.01–200 Гц. За пределами объездной дороги, в окрестностях ЕКАД, городской магнитный шум заметно меньше и по модулю магнитной индукции может составлять до 150 нТл, за исключением локальных источников.

Вблизи линий электропередач, вдоль всей их протяженности, создается повышенное магнитное поле промышленной частоты и ее первых гармоник ($|\mathbf{B}| \sim 2700$ нТл), которое на расстоянии ~150 м достаточно быстро снижается до среднего уровня магнитного шума ($|\mathbf{B}| \sim 66$ нТл) для данного участка города.

В центральной части города короткие импульсы большой амплитуды наблюдаются за счет передвижения электропоездов метрополитена, магнитный шум от которых в исследуемом диапазоне частот может составлять 10 000 нТл и более, особенно в часы пик.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-35-60004).

Литература

- Беляев Г.Г., Чмырев В.М., Клейменова Н.Г., Козырева О.В. Электромагнитный ультранизкочастотный фон мегаполиса (г. Москва) // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т. 43, № 5. С. 697–701.
- Вишнев В.С. Некоторые характеристики техногенного электромагнитного импульсного поля тяговой сети железной дороги // Урал. геофиз. вестн. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. № 5. С. 16–23.
- Колесник А.Г., Колесник С.А., Бородин А.С., Шошин Е.Л., Федичев М.А. Электромагнитный фон городских территорий диапазона промышленных частот // Вестн. Том. гос. ун-та. 2007. № 297. С. 161–164.
- Сокол-Кутыловский О.Л. Автопараметрический датчик магнитной индукции // Датчики и системы. 2009. № 1. С. 37–39.

- Сокол-Кутыловский О.Л., Тягунов Д.С. Влияние техногенных магнитных полей на геомагнитные измерения в обсерваториях // Измерительная техника. 2012. № 9. С. 58–60.
- Спивак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Харламов В.А. Геофизические поля мегаполиса // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15, № 2. С. 39–54.
- Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л. Спектральное распределение городского магнитного шума в диапазоне низких частот // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 3 (31). С. 58–64.
- Тягунов Д.С. Метрополитен как один из источников электромагнитного шума // Междунар. науч.-исслед. журн. 2016. Ч. 4, № 7 (49). С. 159–163.
- Уткин В.И., Тягунов Д.С. Пространственное распределение городского техногенного магнитного шума в частотном диапазоне 0.01–30 Гц // Докл. РАН. 2013. Т. 453, № 3. С. 334–336.
- Уткин В.И., Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л., Сенина Т.Е. Загрязнение окружающей среды в связи с воздействием электромагнитного поля на частотах 0.05–20 Гц // Геоэкология. 2010. № 4. С. 106–112.

Сведения об авторе

- ТЯГУНОВ Дмитрий Сергеевич** – кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения РАН. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 100. Тел.: +7 (343) 267-88-89. E-mail: tds-07@mail.ru
- TYAGUNOV Dmitriy S.** – cand. of tech. sci., scientific researcher, Bulashevich Institute of Geophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Ekaterinburg, Russia. Tel.: +7 (343) 267-88-89. E-mail: tds-07@mail.ru

DISTRIBUTION OF MAN-MADE LOW FREQUENCY MAGNETIC NOISE IN A BIG INDUSTRIAL CITY

D.S. Tyagunov

Bulashevich Institute of Geophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The paper deals with the measurements of technogenic magnetic noise in the frequency range 0.01–200 Hz, which were carried out in the daytime within the central part of Yekaterinburg, the city's bypass road and the Yekaterinburg ring road. The equipment used, measurement technique and methods of data processing are described. On the basis of the results obtained, the magnetic induction module was determined and a map-scheme of the distribution of anthropogenic magnetic noise over the area of Yekaterinburg and in its surroundings was constructed. It is shown that magnetic noise is concentrated in the central regions of the city, and its amplitude can reach ~ 1500 nT. Within the regions near the ring road, magnetic noise decreases to 150 nT. Examples of records of anthropogenic magnetic noise created by the power lines and electric trains of the underground are also given. They show that the amplitude of magnetic noise produced by these sources is much higher than the average intensity of magnetic noise in the central part of the city. We revealed that the amplitude of the vertical component of the magnetic noise, as a rule, was more in comparison to the horizontal components.

Keywords: man-made magnetic noise, electromagnetic noise, magnetic induction, sources of man-made magnetic noise.