



АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

А.Г. Коробейников, Н.Г. Птицына,
В.С. Исмагилов, Ю.А. Копытенко

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТОПОЛОГИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОВО-ГРАДИЕНТНОГО МЕТОДА¹

***Аннотация.** Электрификация дорожного транспорта является в настоящее время приоритетным направлением развития науки, технологий и техники. Это связано со многими факторами и рисками как то: изменение климата, здоровье населения, зависимость от энергии, а также стоимость исходных материалов. При эксплуатации электромобилей и гибридных автомобилей необходим контроль магнитного поля в реальном масштабе времени, например, для пожарной и электромагнитной безопасности. В работе представлен разработанный метод измерения магнитных полей на борту электрического автомобиля с учетом специфики этих полей. Метод опирается на дифференциальные методы измерения и минимизирует количество магнитометрических датчиков.*

***Ключевые слова:** Программное обеспечение, электромобиль, магнитное поле, электромагнитная безопасность, измерение магнитного поля, фазово-градиентный метод, дифференциальные методы измерения, дорожный транспорт, экология, здоровье*

Введение

Электрификация дорожного транспорта является в настоящее время приоритетным направлением развития науки, технологий и техники. Это связано со многими факторами и рисками как то: изменение климата, здоровье населения, зависимость от энергии, а также стоимость исходных материалов. Дорожный транспорт является основным источником загрязнения среды в месте нахождения автомобиля. В городах концентрация вредных выхлопов особенно велика. Растет число доказательств, связывающих автомобильное загрязнение городов с серьезными рисками для здоровья, как например, с респираторными и кардио-респираторными заболеваниями, а также с раком легких.

¹ Работа поддержана Министерством образования и науки РФ, государственный контракт № 11.519.11.1011

По сведениям Всемирной Организации Здравоохранения вредные выхлопы автомобилей приводят к большему количеству смертей, чем автомобильные аварии. Исходя из этого, Европейское Сообщество в последнее время инвестирует в разработки экологичного автомобиля «green car» суммы порядка миллиарда евро. Замена обычных автомобилей, использующих двигатели внутреннего сгорания, на электрический автотранспорт – электромобили и их гибриды – представляется логичным решением и панацеей от экологических бед.

Преимуществом электромобилей по сравнению с автомобилями, оснащенными двигателями внутреннего сгорания, является отсутствие вредных выхлопов в месте нахождения автомобиля и экологичность ввиду отсутствия применения нефтяных топлив, антифризов, трансмиссионных и моторных масел, а также фильтров для этих жидкостей. Дополнительным существенным преимуществом является низкая стоимость эксплуатации электромобиля, особенно в Российской Федерации, где стоимость электроэнергии сравнительно невелика, особенно в ночное время, когда, скорее всего и будут заряжаться автомобили.

Необходимость анализа магнитных полей в электромобиле

С другой стороны, мировые производители электрического автомобилестроения столкнулись с серьезной проблемой обеспечения электромагнитной безопасности пользователей электрического автомобильного транспорта. Существует озабоченность населения и средств массовой информации по поводу возможных рисков для здоровья и безопасности движения из-за воздействия электромагнитных полей (ЭМП), которые будут генерироваться в электрическом автотранспорте сильными токами, текущими в электропроводах и кабелях. Эта озабоченность подкрепляется многочисленными работами, свидетельствующими о том, что ЭМП промышленной частоты (50-60 Гц) могут представлять угрозу здоровью, в частности могут провоцировать канцерогенные заболевания, опухоли мозга, различные неврологические нарушения, депрессиях [1-4]. Кроме того, магнитные поля (МП) сверхнизкой частоты замедляют реакцию человека, что может представлять серьезную угрозу безопасности движения, если такие явления наблюдаются у водителей [3]. При этом следует учесть два «отягчающих обстоятельства»: во-первых, водители и пассажиры электромобиля будут находиться в непосредственной близости к источникам МП, и, во-вторых, они будут подвергаться экспозиции полей в течение длительного времени. Мы пользуемся феном, электробритвой или микроволновой печью в течение нескольких минут или десятков минут, а в автомобиле люди часто проводят многие часы. Оба вышечисленных фактора увеличивают риск негативного воздействия магнитных полей.

В то время как во всех типах автомобилей присутствуют внешние ЭМП, включая МП Земли, а также ЭМП от различных бортовых электронных устройств, электрический и гибридный автомобили, благодаря своим конструктивным особенностям, генерируют существенные внутренние ЭМП в широком диапазоне частот. Электрооборудование в электро-

мобилях является источником переменного ЭМП, имеющего сильную временную и пространственную неоднородность в диапазоне частот от 0 до сотен мегагерц [5-7].

С экологической точки зрения наиболее важной является магнитная составляющая ЭМП, так как доказано, что именно она может приводить к негативным последствиям для здоровья. МП также могут представлять риск для электромагнитной совместимости различных электротехнических средств и электронных устройств электромобиля.

Таким образом, измерение и оценка МП, а также определение их топологии в электрическом автомобиле является актуальной задачей. До сих пор работ о детальных магнитных измерениях в гибридных автомобилях очень мало, а опубликованные статьи по тестированию МП в полностью электрических автомобилях практически отсутствуют вообще [5, 8]. Однако суммирование известных к настоящему времени сведений и сравнение с данными, полученными для других видов электрического транспорта [9 – 13] позволило выявить характерные общие для таких полей черты. Основными чертами является то, что в отличие от синусоидальных полей от линий передач (на частоте 50 или 60 Гц), ЭМП в электрическом автомобиле являются мультисоставными полями, то есть они являются суперпозицией полей, генерируемых множеством источников на борту автомобиля. Кроме того, выявлено, что МП в электромобиле являются иррегулярными, быстро меняющимися во времени и крайне неоднородными в пространстве салона.

Перечисленные характерные черты МП в электромобиле осложняют подробные и точные измерения этих полей в салоне движущегося автомобиля. Для корректных измерений полей и их градиентов в салоне и в непосредственной близости от электромобиля необходимо учитывать: большую пространственную неоднородность поля в салоне автомобиля; аддитивную индустриальную помеху, а также естественное постоянное и переменное геомагнитное поле в том же диапазоне частот [3, 14].

Для мониторинга внутри салона автомобиля пространственно сильно неоднородных МП и построения 3D-топологии необходимо использование многочисленных равномерно распределенных датчиков МП. В данной работе для решения этой задачи, предлагается метод тестирования МП в электромобиле, базирующийся на дифференциальных методах измерения.

Фазово-градиентный метод

Одним из дифференциальных методов является фазово-градиентный метод, впервые предложенный в [15 – 20], для исследования УНЧ ($F=0.001-100$ Гц) геомагнитных вариаций. Этот метод позволяет по трем трехкомпонентным магнитным датчикам, расположенным треугольником на небольшом расстоянии друг от друга (магнитный градиентометр), построить вектора градиентов и фазовых скоростей магнитных вариаций для любой из трех компонент МП. Вектора градиентов геомагнитных волн, как правило, направлены к локальному источнику пульсаций, а вектора фазовых скоростей – от источника.

Градиенты и фазовые скорости магнитных вариаций можно определять по фазовым задержкам и разностям величин амплитуд вариаций между двумя любыми парами магнитного градиентометра, состоящего из трех разнесенных датчиков. Поскольку координаты магнитных датчиков и расстояние между ними известно, то можно определить градиенты и фазовые скорости для двух пар датчиков, выбранных из трех датчиков магнитного градиентометра, и затем построить вектор фазовой скорости и градиента вариаций следующим образом:

для вектора фазовой скорости:

$$\begin{cases} \alpha = \operatorname{arctg} \frac{V_{12} \cos(a_1) - V_{13} \cos(a_2)}{V_{12} \sin(a_1) + V_{13} \sin(a_2)} \\ V = V_{12} \cos(\alpha + a_1) \end{cases} \quad (1)$$

для вектора градиента:

$$\begin{cases} \alpha = \operatorname{arctg} \frac{G_{13} \cos(a_1) - G_{12} \cos(a_2)}{G_{12} \sin(a_1) + G_{13} \sin(a_2)} \\ G = G_{12} / \sin(\alpha + a_1) \end{cases} \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) V_{12} , V_{13} , G_{12} , G_{13} – величины фазовых скоростей и градиентов в направлении между парами трехкомпонентных магнитных датчиков 1 и 2, 1 и 3. α – направление соответствующего вектора относительно заданной оси (V и G – величины фазовой скорости и градиента). Углы a_1 и a_2 определяются через координаты магнитных датчиков 2 и 3 (базовый датчик 1 расположен в начале системы координат):

$$a_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{x_2}{y_2} \right), \quad a_2 = \operatorname{arctg} \left(\frac{x_3}{y_3} \right).$$

Градиенты и фазовые скорости могут быть выражены и через другие тригонометрические функции [16-18]. Использование выражений (1) и (2) в этом методе предполагает достаточно хорошую синхронизацию работы всех трех магнитных датчиков (если данные не записываются в одно многоканальное АЦП) и высокую дискретность регистрируемых данных.

В рамках модели плоской электромагнитной волны величина фазовой скорости между двумя точками определяется через амплитуды соответствующих компонент вариаций магнитного поля с учетом фазовой задержки следующим образом [15,19]:

$$V_{12} = \frac{2\pi d_{12}}{T \ln[B_1(t) / B_2(t + \tau)]} \quad (3)$$

В выражении (3) для магнитных вариаций с периодом T величины B_1 и B_2 определяются в момент времени t на первой станции и в момент времени $t + \tau$ на второй станции

(τ – фазовая задержка при прохождении магнитной волны расстояния d_{12} между двумя станциями). Определив по (3) фазовые скорости V_{12} и V_{13} можно затем воспользоваться выражениями (1) для определения направления и величины вектора фазовой скорости электромагнитных волн. При применении этого метода в качестве величин B_1 и B_2 могут быть использованы среднеквадратичные значения амплитуд.

Применение фазово-градиентного метода для измерения магнитных полей в электромобиле

Обозначим величину и градиент магнитного поля, создаваемого электрооборудованием электромобиля в какой-то точке внутри салона как B_1 и ΔB_1 , а величина поля и градиент внешних источников (индустриальная помеха и естественное постоянное и переменное геомагнитное поле) как B_2 и ΔB_2 . Пусть $B_2 \geq B_1$, а ΔB_1 много больше ΔB_2 . Тогда разность полей в двух точках внутри салона, поскольку ΔB_1 много больше ΔB_2 , с большой точностью будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta B = (B_1 + \Delta B_1 + B_2 + \Delta B_2) - (B_1 + B_2) = \Delta B_1 + \Delta B_2 \approx \Delta B_1 \quad (4)$$

т.е. разность ΔB магнитных полей в двух точках внутри салона является градиентом внутренних источников электромобиля, а внешние поля исключаются.

Источники переменного ЭМП в электромобилях имеют небольшие размеры и их можно рассматривать как излучающие точечные диполи, поля от которых затухают с расстоянием по кубическому закону, поэтому градиенты ЭМП внутри электромобиля на расстояниях до нескольких метров должны быть весьма велики. Действительно, как было показано прямыми измерениями в гибридном автомобиле Крайслер [21], пространственные градиенты, доходили до 1000 мГ/м (100 мкТ/м). В то же время градиенты внешних источников малы в связи с их удаленностью и большими размерами.

Для того, чтобы выявить топологию магнитного поля в электромобиле с учетом его крайней пространственной неоднородности, датчики в салоне должны располагаться достаточно плотно, т.е. количество датчиков должно быть не менее 10-20 (равномерно на расстоянии десятка см на уровне пола, на уровне головы водителей и пассажиров и т.д.).

Для уменьшения количества датчиков предлагается использовать фазово-градиентный метод. Так как мы предполагаем, что МП от внутренних источников меняются с расстоянием как поле диполя, то мы можем использовать этот метод для построения трехмерного распределения МП внутри салона. В этом случае минимальное количество трехкомпонентных магнитных датчиков – четыре. Три из них образуют треугольник (например, два датчика на спинках сидений и один размещается вблизи двигателя/батареи) необходимый для измерения полей и градиентов в плоскости треугольника, четвертый поднят вверх или опущен вниз для построения градиентов, направленных вертикально. В пирамиде можно выделить четыре тройки датчиков. Используя эти

тройки можно построить четыре вектора градиентов МП. Величина и направление этих векторов позволяет интерполировать МП на весь салон электроавтомобиля.

На Рис. 1 (верхняя часть) представлена примерная схема расположения минимального количества датчиков (4 сенсора) в плоскости пола автомобиля и в продольном сечении перпендикулярном полу (нижняя часть рисунка).

Практическую точность метода следует определить в эксперименте.

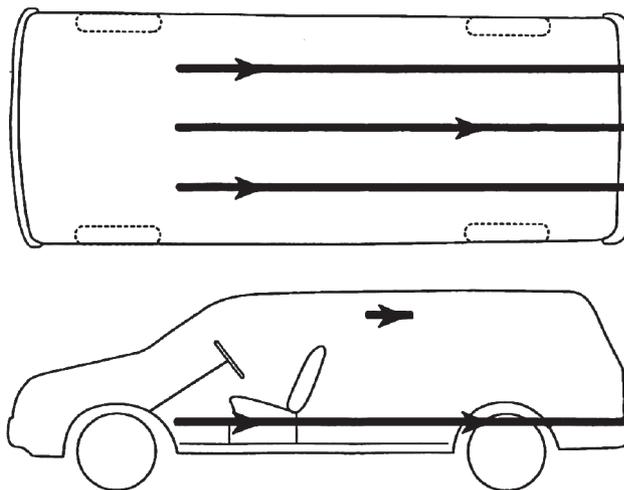


Рис. 1.

Схема расположения минимального количества датчиков для измерения магнитного поля и его пространственных градиентов в электрическом автомобиле. Стрелки обозначают позицию датчиков.

Заключение

Предложенный метод позволит разделить внешние и внутренние поля и определить источники увеличенных МП. В результате можно будет определить 3-D топологию МП в электрическом/гибридном автомобиле и выявить критические точки для электромагнитной совместимости, а также особенности поля и их источники потенциально опасные для здоровья водителей и пассажиров.

Список литературы:

1. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А., Степанов В.С., Пальцев Ю.П. Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровье населения России. М., 1997, 91 С.
2. NIEHS Working Group Report, Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields (Eds C.J. Portier, M.S. Wolfe) NIH Publ. No. 98-3981, 1998.

3. *Птицына Н.Г., Дж. Виллорези, Дорман Л.И., Н. Юччи, Тясто М.И.* Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья//УФН (Успехи физических наук) – 1998, Т. 168, №7, С. 767-791.
4. *Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А., Меркулов А.В.* Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное пособие. Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 1999. 146 С.
5. *Mus A.M.*, Electromagnetic Fields Associated with Transportation Systems, Radiation Health and Safety Consulting, Contract Report 4500016448, Air Health Effects Division, Healthy Environments and Consumer Safety Branch Health, Canada, 2002.
6. *Schick M. and Jakobus U.* Advanced EMC modeling features in FEKO for Automotive Problems. Proceedings of the 22th International Conference on Electromagnetic Compatibility “EMC Europe 2012”, Rome, Italy, 17– 21 September, 2012.
7. *Ptitsyna N., Ponzetto A.* Magnetic Fields Encountered in Electric Transport: Rail Systems, Trolleybus and Cars. Proceedings of the 22th International Conference on Electromagnetic Compatibility “EMC Europe 2012”, Rome, Italy, 17– 21 September, 2012.
8. Swiss Federal Office of Public Health, Cars, hybrid cars, Technical Report, 2009 <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/02377/index.html?lang=en>. Последняя дата обращения – 05.11.2012 г.
9. *Vedholm, K., and Hamnerius, Y.K.*, 1997. “Personal Exposure Resulting from Low Level Low Frequency Electromagnetic Fields in Automobiles,” Abstract F-9, Second World Congress for Electricity and Magnetism in Medicine and Biology, June 8-13, Bologna, Italy, 1997.
10. *Farag A.S., H. Hussain, I. Said, M. Abdel Kader, N. Abdul Rahman.* Electromagnetic Fields Associated with Transportation Systems in Malaysia. Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003) Electromagnetic Fields and Our Health, October 2003.
11. *Ptitsyna N.G., Villorresi G. and Kopytenko Yu.A.* Magnetic fields from railway: environmental aspects. In “Railway Transportation: Policies, Technology and Perspectives”, ed. by F. Columbus, N.Y., Novapublishers. 2009.
12. *Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Копытенко Ю.А. Тясто М.И.* Магнитные поля на электро транспорте и экология человека. Санкт-Петербург, Изд.Нестор-История. 2010. С. 120.
13. *Halgamuge, M. N., C. D. Abeyrathne and P. Mendis.* Measurements performed in electric trains – Comparison with ICNIRP Limit & Laboratory Experiments. “Measurement and Analysis of Electromagnetic Fields from Trams, Trains and Hybrid Cars”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 141, Issue 3, pp 255-268, 2010.
14. *Ptitsyna N.G., Y.A. Kopytenko, G. Villorresi, D.H. Pfluger, V. Ismaguilov, N. Iucci, E.A. Kopytenko, D.B. Zaitzev, P.M. Voronov, M.I Tyasto.* Waveform Magnetic Field Survey in Russian DC– and Swiss AC-powered Trains: a Basis for Biologically Relevant Exposure Assessment. Bioelectromagnetics. 24, 546-556. 2003.
15. *Копытенко Ю.А., Исмагилов В.С., Копытенко Е.А., Воронов П.М., Зайцев Д.Б.* Магнитная локация источников геомагнитных возмущений//ДАН/серия “Геофизика”. 2000. Т. 371. № 5. С. 685-687.

16. *Ismaguilov V.S., Kopytenko Yu.A., Hattori K., P. M. Voronov, O. A. Molchanov, and M. Hayakawa.* ULF Magnetic Emissions Connected with Under Sea Bottom Earthquakes // *Natural Hazards and Earth Sys. Sci.* V. 1. P. 1-9. 2001.
17. *Ismaguilov V.S., Kopytenko Yu.A., Hattori K., Hayakawa M.* Variations of phase velocity and gradient values of ULF geomagnetic disturbances connected with the Izu strong earthquakes // *Natural Hazards and Earth Sys. Sci.* V.20. P.1-5. 2002.
18. *Kopytenko Yu.A., Ismagilov V. S., K. Hattori, M. Hayakawa.* Investigation of the ULF electromagnetic phenomena related to earthquakes: contemporary achievements and the perspectives // *Annali di Geofisika.* V. 44. № 2. P. 325-334. 2001.
19. *Исмагилов В. С., Ю. А. Копытенко, К. Хаттори, М. Хаякава.* Использование градиентов и фазовых скоростей УНЧ геомагнитных возмущений для определения местоположения очага будущего сильного землетрясения. *Геомагнетизм и Аэронавигация*, т.46, №3, стр.423-430, 2006.
20. *Коробейников А.Г., Копытенко Ю.А., Исмагилов В.С.* Интеллектуальные информационные системы магнитных измерений//*Научно-технический вестник СПб ГУ ИТМО– СПб: СПбГУ ИТМО, 2011, 1(71)– с.39-44.*
21. *Snyder M.* Magnetic Shielding for Electric Vehicles. Program Review. Contract DAAE07-93-C-R107. Army TACOM, Chrysler Corp. 1995.

Библиография:

1. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А., Степанов В.С., Пальцев Ю.П. Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровье населения России. М., 1997, 91 С.
2. NIEHS Working Group Report, Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields (Eds C.J. Portier, M.S. Wolfe) NIH Publ. No. 98-3981, 1998.
3. Птицына Н.Г., Дж. Виллорези, Дорман Л.И., Н. Юччи, Тясто М.И. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья//*УФН (Успехи физических наук)* – 1998, Т. 168, №7, С. 767-791.
4. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А., Меркулов А.В. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное пособие. Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 1999. 146 С.
5. Muc A.M., *Electromagnetic Fields Associated with Transportation Systems, Radiation Health and Safety Consulting, Contract Report 4500016448, Air Health Effects Division, Healthy Environments and Consumer Safety Branch Health, Canada, 2002.*
6. Schick M. and Jakobus U. Advanced EMC modeling features in FEKO for Automotive Problems. Proceedings of the 22th International Conference on Electromagnetic Compatibility “EMC Europe 2012”, Rome, Italy, 17– 21 September, 2012.
7. Ptitsyna N., Ponzetto A. Magnetic Fields Encountered in Electric Transport: Rail Systems, Trolleybus and Cars. Proceedings of the 22th International Conference on Electromagnetic Compatibility “EMC Europe 2012”, Rome, Italy, 17– 21 September, 2012.

8. Swiss Federal Office of Public Health, Cars, hybrid cars, Technical Report, 2009 <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/02377/index.html?lang=en>. Последняя дата обращения – 05.11.2012 г.
9. Vedholm, K., and Hamnerius, Y.K., 1997. «Personal Exposure Resulting from Low Level Low Frequency Electromagnetic Fields in Automobiles,» Abstract F-9, Second World Congress for Electricity and Magnetism in Medicine and Biology, June 8-13, Bologna, Italy, 1997.
10. Farag A.S., H. Hussain, I. Said, M. Abdel Kader, N. Abdul Rahman. Electromagnetic Fields Associated with Transportation Systems in Malaysia. Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003) Electromagnetic Fields and Our Health, October 2003.
11. Ptitsyna N.G., Villoresi G. and Копытенко Ю.А. Magnetic fields from railway: environmental aspects. In “Railway Transportation: Policies, Technology and Perspectives”, ed. by F. Columbus, N.Y., Novapublishers. 2009.
12. Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Копытенко Ю.А. Тясто М.И. Магнитные поля на электро-транспорте и экология человека. Санкт-Петербург, Изд.Нестор-История. 2010. С. 120.
13. Halgamuge, M. N., C. D. Abeyrathne and P. Mendis. Measurements performed in electric trains – Comparison with ICNIRP Limit & Laboratory Experiments. “Measurement and Analysis of Electromagnetic Fields from Trams, Trains and Hybrid Cars”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 141, Issue 3, pp 255-268, 2010.
14. Ptitsyna N.G., Y.A. Копытенко, G. Villoresi, D.H. Pfluger, V. Ismaguilov, N. Iucci, E.A. Копытенко, D.B. Zaitzev, P.M. Voronov, M.I Tyasto. Waveform Magnetic Field Survey in Russian DC– and Swiss AC-powered Trains: a Basis for Biologically Relevant Exposure Assessment. Bioelectromagnetics. 24, 546-556. 2003.
15. Копытенко Ю.А., Исмагилов В.С., Копытенко Е.А., Воронов П.М., Зайцев Д.Б. Магнитная локация источников геомагнитных возмущений//ДАН /серия “Геофизика”. 2000. Т. 371. № 5. С. 685-687.
16. Ismaguilov V.S., Копытенко Ю.А., Hattori K., P. M. Voronov, O. A. Molchanov, and M. Hayakawa. ULF Magnetic Emissions Connected with Under Sea Bottom Earthquakes // Natural Hazards and Earth Sys. Sci. V. 1. P. 1-9. 2001.
17. Ismaguilov V.S., Копытенко Ю.А., Hattori K., Hayakawa M. Variations of phase velocity and gradient values of ULF geomagnetic disturbances connected with the Izu strong earthquakes // Natural Hazards and Earth Sys. Sci. V.20. P.1-5. 2002.
18. Копытенко Ю.А., Ismagilov V. S., K. Hattori, M. Hayakawa. Investigation of the ULF electromagnetic phenomena related to earthquakes: contemporary achievements and the perspectives // Annali di Geofisika. V. 44. № 2. P. 325-334. 2001.
19. Исмагилов В. С., Ю. А. Копытенко, К. Хаттори, М. Хаякава. Использование градиентов и фазовых скоростей УНЧ геомагнитных возмущений для определения местоположения очага будущего сильного землетрясения. Геомагнетизм и Аэрономия, т.46, №3, стр.423-430, 2006.
20. Коробейников А.Г., Копытенко Ю.А., Исмагилов В.С. Интеллектуальные информационные системы магнитных измерений//Научно-технический вестник СПб ГУ ИТМО– СПб: СПбГУ ИТМО, 2011, 1(71)– с.39-44.

21. Snyder M. Magnetic Shielding for Electric Vehicles. Program Review. Contract DAAE07-93-C-R107. Army TACOM, Chrysler Corp. 1995.

References (transliteration):

1. Grigor'ev Yu.G., Grigor'ev O.A., Stepanov V.S., Pal'tsev Yu.P. Elektromagnitnoe zagryaznenie okruzhayushchey sredy i zdorov'e naseleniya Rossiyu. M., 1997, 91 S.
2. NIEHS Working Group Report, Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields (Eds C.J. Portier, M.S. Wolfe) NIH Publ. No. 98-3981, 1998.
3. Ptitsyna N.G., Dzh. Villorezi, Dorman L.I., N. Yuchchi, Tyasto M.I. Estestvennye i tekhnogennye nizkochastotnye magnitnye polya kak faktory, potentsial'no opasnye dlya zdorov'ya//UFN (Uspekhi fizicheskikh nauk) – 1998, T. 168, №7, S. 767-791.
4. Grigor'ev Yu.G., Stepanov V.S., Grigor'ev O.A., Merkulov A.V. Elektromagnitnaya bezopasnost' cheloveka. Spravochno-informatsionnoe posobie. Rossiyskiy natsional'nyy komitet po zashchite ot neioniziruyushchikh izlucheniya, 1999. 146 S.
5. Muc A.M., Electromagnetic Fields Associated with Transportation Systems, Radiation Health and Safety Consulting, Contract Report 4500016448, Air Health Effects Division, Healthy Environments and Consumer Safety Branch Health, Canada, 2002.
6. Schick M. and Jakobus U. Advanced EMC modeling features in FEKO for Automotive Problems. Proceedings of the 22th International Conference on Electromagnetic Compatibility "EMC Europe 2012", Rome, Italy, 17– 21 September, 2012.
7. Ptitsyna N., Ponzetto A. Magnetic Fields Encountered in Electric Transport: Rail Systems, Trolleybus and Cars. Proceedings of the 22th International Conference on Electromagnetic Compatibility "EMC Europe 2012", Rome, Italy, 17– 21 September, 2012.
8. Swiss Federal Office of Public Health, Cars, hybrid cars, Technical Report, 2009 <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/02377/index.html?lang=en>. Poslednyaya data obrashcheniya – 05.11.2012 g.
9. Vedholm, K., and Hamnerius, Y.K., 1997. «Personal Exposure Resulting from Low Level Low Frequency Electromagnetic Fields in Automobiles,» Abstract F-9, Second World Congress for Electricity and Magnetism in Medicine and Biology, June 8-13, Bologna, Italy, 1997.
10. Farag A.S., H. Hussain, I. Said, M. Abdel Kader, N. Abdul Rahman. Electromagnetic Fields Associated with Transportation Systems in Malaysia. Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003) Electromagnetic Fields and Our Health, October 2003.
11. Ptitsyna N.G., Villoresi G. and Kopytenko Yu.A. Magnetic fields from railway: environmental aspects. In "Railway Transportation: Policies, Technology and Perspectives", ed. by F. Columbus, N.Y., Novapublishers. 2009.
12. Ptitsyna N.G., Villorezi Dzh., Kopytenko Yu.A. Tyasto M.I. Magnitnye polya na elektrotransporte i ekologiya cheloveka. Sankt-Peterburg, Izd.Nestor-Istoriya. 2010. S. 120.
13. Halgamuge, M. N., C. D. Abeyrathne and P. Mendis. Measurements performed in electric trains – Comparison with ICNIRP Limit & Laboratory Experiments. "Measurement and

- Analysis of Electromagnetic Fields from Trams, Trains and Hybrid Cars”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 141, Issue 3, pp 255-268, 2010.
14. Ptitsyna N.G., Y.A. Kopytenko, G. Villorosi, D.H. Pfluger, V. Ismaguilov, N. Iucci, E.A. Kopytenko, D.B. Zaitzev, P.M. Voronov, M.I Tyasto. Waveform Magnetic Field Survey in Russian DC– and Swiss AC-powered Trains: a Basis for Biologically Relevant Exposure Assessment. *Bioelectromagnetics*. 24, 546-556. 2003.
 15. Kopytenko Yu.A., Ismagilov V.S., Kopytenko E.A., Voronov P.M., Zaytsev D.B. Magnitnaya lokatsiya istochnikov geomagnitnykh vozmushcheniy//DAN/seriya «Geofizika». 2000. T.371. № 5. S. 685-687.
 16. Ismaguilov V.S., Kopytenko Yu.A., Hattori K., P. M. Voronov, O. A. Molchanov, and M. Hayakawa. ULF Magnetic Emissions Connected with Under Sea Bottom Earthquakes // *Natural Hazards and Earth Sys. Sci*. V. 1. P. 1-9. 2001.
 17. Ismaguilov V.S., Kopytenko Yu.A., Hattori K., Hayakawa M. Variations of phase velocity and gradient values of ULF geomagnetic disturbances connected with the Izu strong earthquakes // *Natural Hazards and Earth Sys. Sci*. V.20. P.1-5. 2002.
 18. Kopytenko Yu.A., Ismagilov V. S., K. Hattori, M. Hayakawa. Investigation of the ULF electromagnetic phenomena related to earthquakes: contemporary achievements and the perspectives // *Annali di Geofisika*. V. 44. № 2. P. 325-334. 2001.
 19. Ismagilov V. S., Yu. A. Kopytenko, K. Khattori, M. Khayakava. Ispol’zovanie gradientov i fazovykh skorostey UNCh geomagnitnykh vozmushcheniy dlya opredeleniya mestopolozheniya ochaga budushchego sil’nogo zemletryaseniya. *Geomagnetizm i Aeronomiya*, t.46, №3, str.423-430, 2006.
 20. Korobeynikov A.G., Kopytenko Yu.A., Ismagilov V.S. Intellektual’nye informatsionnye sistemy magnitnykh izmereniy//*Nauchno-tekhnicheskiy vestnik SPb GU ITMO– SPb: SPbGU ITMO*, 2011, 1(71)– s.39-44.
 21. Snyder M. Magnetic Shielding for Electric Vechicles. Program Review. Contract DAAE07-93-C-R107. Army TACOM, Chrysler Corp. 1995.