

Предложение-проект

Название предложения-проекта: Совместные исследования и разработки в области электромагнитной экологии, электромагнитной безопасности и электромагнитной совместимости сотовой (мобильной) связи 4G/5G/6G

Актуальность проекта: В связи с чрезвычайно интенсивным развитием беспроводных технологий и систем информационного обслуживания общества и их глубоким проникновением во все сферы человеческой деятельности сопутствующее этим процессам электромагнитное (ЭМ) загрязнение окружающей среды становится все более угрожающим антропогенным фактором. Его опасность, как правило, недооценивается, и в ближайшие годы может оказаться соизмеримой с опасностью известных процессов глобального потепления и деградации окружающей среды.

Многочисленные измерения ЭМ фона (ЭМФ), создаваемого системами сотовой связи (СС) в местах с различной плотностью населения в 2005-2019 годы свидетельствуют о том, что радиосети СС второго (GSM, IS-95) и третьего (UMTS, CDMA2000) поколений, в периоды проведения измерений предоставлявшие основной объем услуг мобильной телефонии и относительно небольшой объем услуг мобильного Интернета, опасности для населения в целом не представляли. В местах и в периоды проведения этих измерений территориальная плотность источников ЭМ излучений (ЭМИ) не превышала 10^3 - 10^4 ед./км², территориальная плотность беспроводного трафика (АТС) не превышала 0.1-1.0 кбит/с/м² при скоростях передачи данных по радиоканалам пользовательского интерфейса не выше 0,032-2,0 Мбит/с. В результате интенсивность создаваемого ими ЭМФ в подавляющем большинстве случаев составляла не более нескольких единиц мкВт/см², не превышая уровня 9,5-10 мкВт/см², принятого во многих странах (Азербайджан, Беларусь, Болгария (кратковременно), Канада (Торонто), Чили (чувствительно), Франция (Париж), Венгрия, Италия (общий), Казахстан, Литва, Польша, Россия, Швейцария, Украина и др.) в качестве предельно допустимого уровня (ПДУ) ЭМФ для населения.

Необходимо отметить, что в ранние периоды развития СС (первое и второе поколения СС), когда основным видом услуг была мобильная телефония, а восходящий трафик (объем передаваемой информации) (от мобильной (МС) к базовой (БС) станции) и нисходящий трафик (от БС к МС) были симметричными, считалось, что основную опасность для населения представляет ЭМИ МС, поскольку мобильный телефон находится у тела человека, и добровольные экологические риски при функционировании систем СС являются преобладающими.

Однако в результате последующей эволюции систем СС в направлении интенсивного развития технологий и услуг передачи данных (мобильного Интернета, интерактивного вещания и т.п.) ситуация изменилась весьма существенно, имеют место:

– постоянное уменьшение средней дальности сотовой радиотелефонной связи при соответствующем уменьшении средней мощности ЭМИ МС в этом режиме и сопутствующем снижении добровольных экологических рисков вследствие непрерывного развития инфраструктуры радиосетей СС, все более широкого использования хотспотов, пикосот;

– все возрастающая асимметрия нисходящего и восходящего трафика, отношение объемов информации, передаваемых от БС к МС и в обратном направлении, достигает 10-100 при соответствующем изменении соотношения энергии ЭМИ БС и МС.

В результате наибольшую важность для населения приобретают вынужденные экологические риски, обусловленные ростом интенсивности ЭМФ, создаваемого системами СС.

Наблюдаемая динамичная эволюция поколений СС от второго (2G) и третьего (3G) поколений к четвертому (4G LTE), а далее - к планируемым пятому (5G) и шестому (6G) поколениям – это неизбежный процесс, обусловленный высочайшей эффективностью систем цифровой мобильной связи практически во всех сферах человеческой деятельности и чрезвычайной привлекательностью широкого спектра услуг беспроводного информационного обслуживания общества.

Обратимся к сводным данным Таблицы 1, характеризующим планируемый рост шести основных системных параметров беспроводного информационного обслуживания человечества в ближайшем будущем. Рост значений параметров №№ 1,2,3,4 связан с пропорциональным ростом мощности ЭМИ БС и МС СС, а рост значений параметров №№ 5,6 обеспечивает пропорциональное снижение этой мощности.

Системные параметры	Поколение мобильной (сотовой) связи			Суммарный рост при эволюции 4G→6G
	4G	5G	6G	
1. Пиковая скорость передачи данных	100 Мб/с	10-20 Гб/с	≥1 Тб/с	≈10 ⁴ раз
2. Фактическая скорость передачи данных	10 Мб/с	0.1 Гб/с	1-10 Гб/с	≈10 ² раз
3. Пропуская способность зоны	0.1 Мб/с/м ²	10 Мб/с/м ²	1 Гб/с/м ²	≈10 ⁴ раз
4. Плотность подключения (плотность работающих МС)	0.1 устройств/м ²	1.0 устройств/м ²	10 устройств/м ²	≈10 ² раз
5. Эффективность использования спектра	1 ^x	3 ^x по срав. с 4G	(5-10) ^x по срав. с 5G	≈15-30 раз
6. Энергоэффективность сети	1 (относительный базовый уровень)	Рост в 10-100 раз по срав. с 4G	Рост в 10-100 раз по срав. с 5G	≈10 ² -10 ⁴ раз

Таблица 1. Сводные данные, характеризующие планируемую эволюцию системных параметров сетей мобильной связи, по опубликованным данным

И поскольку

– совокупный планируемый рост параметров №№ 1,2,3,4 составляет по меньшей мере в ≈10⁴ раз для эволюции 4G→5G, и в те же ≈10⁴ раз для эволюции 5G→6G (в совокупности примерно на 8 порядков раз для эволюции 4G→6G), а

– совокупный планируемый рост параметров №№ 5,6 составляет всего в ≈30-300 раз для эволюции 4G→5G, и в ≈50-1000 раз для эволюции 5G→6G (в совокупности не более чем на 3-4 порядка для эволюции 4G→6G с учетом неопределенности известных оценок), декларируемое эволюционное развитие систем СС от 4G к 5G и далее к 6G с использованием традиционных подходов способно стать причиной резкого (на несколько порядков!) роста интенсивности ЕМВ, создаваемого этими системами в местах с высокой плотностью населения, и соответствующего резкого ухудшения ЭМ экологии среды обитания, и, в целом, снижения до недопустимого уровня ЭМ безопасности населения.

С одной стороны, подобные перспективы, являются причиной нарастающего беспокойства о здоровье и благополучии населения, и подающих пример локальных решений на правительственном уровне в Швейцарии и Франции, ограничивающих неконтролируемое использование беспроводных технологий в помещениях и в общественном транспорте.

С другой стороны, заметна обеспокоенность, что подобные локальные правительственные решения, а также растущая радиофобия населения, способны воспрепятствовать развитию СС в масштабах и темпах, Это, по-видимому, явилось причиной появления последних корпоративных рекомендаций ICNIRP, декларирующих безопасность систем и услуг 5G при уровнях ЭМФ, на 2 порядка и более превышающих значения ПДУ ЭМФ, принятых во многих странах.

Нельзя не отметить, что эти рекомендации, учитывая только тепловое воздействие радиочастотных ЭМ полей (ЭМП) на биоткани, определяя верхнюю границу области якобы безопасной интенсивности радиочастотных ЭМП на уровне 10 Вт/м² (1000 мкВт/см²) и выше, и допуская при их воздействии нагрев всей верхней части тела до 2 градусов и отдельных участков тела до 5 градусов за 6 минут, с точки зрения ЭМ безопасности населения чрезмерно оптимистичны. Они носят выраженный корпоративный характер, не учитывают различных нетепловых эффектов воздействия радиочастотных ЭМП и, по-видимому, могут служить лишь иллюстрацией границы между нефатальным и фатальным воздействием радиочастотных ЭМП на человеческий организм.

Подобные уровни ЭМП фактически соответствуют режимам щадящего размораживания продуктов в микроволновой печи и, по нашему глубокому убеждению, не могут быть признаны приемлемыми для всего населения.

Мы убеждены, что значения ПДУ ЭМП на уровне 2,5-40 мкВт/см² (0,025-0,4 Вт/м²), принятые во многих странах в результате глубоких научных исследований и многолетнего анализа состояния здоровья отдельных групп населения, подвергающихся вынужденному либо добровольному воздействию радиочастотных ЭМП, и отражающие реальную опасность нетепловых эффектов воздействия радиочастотных ЭМП на человеческий организм, более адекватны требуемой степени защиты населения от ЭМФ, создаваемого современными и перспективными системами СС.

Эти эффекты, в частности, связаны с нарушениями нервной и психической деятельности, снижением репродуктивной функции как у мужчин, так и у женщин и заметным ростом повреждений ДНК, нарушениями сердечного ритма и периферического артериального давления, угнетением иммунной системы при воздействии радиочастотных ЭМП с уровнями, значительно меньшими по сравнению с допускаемыми ICNIRP; наконец, решением ВОЗ радиочастотные ЭМП классифицированы в качестве потенциально опасного канцерогенного фактора.

Все вышесказанное определяет чрезвычайную актуальность исследований и разработок в области ЭМ экологии (ЭМЭ), ЭМ безопасности (ЭМБ) и ЭМ совместимости (ЭМС) СС связи 4G/5G/6G.

Результаты исследований БГУИР в области ЭМЭ и ЭМБ СС

Высокий научно-технический уровень исследований и разработок, проводимых НИЛ ЭМС БГУИР, имеет мировое признание, подтверждается многочисленными англоязычными научными публикациями лаборатории ЭМС БГУИР в ведущих зарубежных изданиях, широким научным сотрудничеством с зарубежными коллегами; в последнее десятилетие этой НИЛ предоставлено право проведения собственной специальной секции “EMC Diagnostics of Complex Systems” на ведущем ежегодном мировом форуме по электромагнитной совместимости “EMC Europe”.

В области анализа ЭМЭ территорий и ЭМБ населения в условиях интенсивного развития систем и услуг СС научно-технический задел БГУИР состоит в следующем:

1. Разработаны базовые принципы и положения научного направления «Системная экология мобильной радиосвязи». Разработана базовая методика вероятностно-статистического ансамблевого моделирования ЭМ обстановки в рассредоточенных пространственных группировках источников ЭМП с произвольной гладкой функцией их территориальной плотности от координат.

2. Разработана методика прогноза преобладающих уровней ЭМП в однородных рассредоточенных пространственных группировках источников ЭМП и перечень типовых вероятностно-статистических моделей ЭМ обстановки для подобных группировок источников ЭМП.

3. Разработана и утверждена Министерством здравоохранения Беларуси методика «Оценка риска для здоровья населения от воздействия ЭМП, создаваемых базовыми станциями сотовой подвижной электросвязи и широкополосного беспроводного доступа. Инструкция по применению», впервые в мире реализующая базовые принципы учета ЭМП мобильных телефонов при оценке вынужденных экологических рисков для населения.

4. Разработана методика системного анализа интенсивности совокупного ЭМФ, создаваемого МС и БС СС, а также радиосистемами других радиослужб, на основе анализа создаваемой ими средней удельной ЭМ нагрузки на территорию.

5. Получены важные результаты исследований характеристик ЭМИ систем СС 2G/3G/4G/5G при их функционировании в местах с высокой плотностью населения и обоснования методики прогноза интенсивности ЭМФ, создаваемого ЭМИ БС и МС современных и перспективных систем СС в местах с различной плотностью населения, на основе прогноза территориальной плотности трафика информационного обслуживания населения этими системами.

6. Выполнены многовариантные оценки требуемых уровней ЭМИ БС СС и уровней создаваемого ими ЭМФ на городской территории с учетом затухания радиоволн в зданиях и уровней внутрисетевых помех. Анализ выполнялся на основе моделирования поведения фрагмента сети СС с использованием модели многолучевого распространения радиоволн Х3D и топологической модели фрагмента городской территории центральной части Минска.

Разработанная в БГУИР методика пессимистической оценки интенсивности ЭМФ, создаваемого БС СС, верифицирована с использованием опубликованных результатов многочисленных измерений ЭМФ, создаваемого системами СС, в десятках стран Европы, Азии, Северной и Южной Америки и Австралии; результаты верификации убедительно подтвердили высокую объективность прогнозов средней интенсивности ЭМФ от этих систем в местах с различной плотностью населения.

Дополнительная информация (публикации БГУИР в данной области)

1. V.Mordachev. Mathematical Models for Radiosignals Dynamic Range Prediction in Space-Scattered Mobile Radiocommunication Networks. The IEEE Semi Annual VTC Fall 2000, Boston, Sept. 24-28, 2000, 8p.
2. V.Mordachev, S.Loyka. On Node Density – Outage Probability Tradeoff in Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 27, No. 7, September 2009, pp.1120-1131.
3. V.Mordachev. System ecology of cellular communications. Belarus State University Publishers, 2009, 319 p. (in Russ.).
4. V.Mordachev. Worst-Case Models of Electromagnetic Background Created by Cellular Base Stations. Proc. of the 9th Int. Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), Cagliari, Sardinia, Italy, July 1-5, 2013, pp.590-595.
5. V.Mordachev. Worst-Case Estimation of Electromagnetic Background Created by Cellular Mobile Stations Near Ground Surface. Proc. of the Int. Symp. “EMC Europe 2014”, Gothenburg, Sweden, Sept. 1-4, 2014, pp.1275-1280.
6. V.Mordachev. Worst-Case Estimation of Electromagnetic Background Near Ground Surface Created by Heterogeneous Radioelectronic Environment. Proc. of the EMC Joint IEEE Int. Symp. on Electrom. Compat. and “EMC Europe”, Dresden, Germany, Aug. 16-22, 2015, pp. 1147-1152.
7. V.Mordachev, A.Svistunov. Reduction of the Radiated Power of Cellular Base Stations on Urban Area at High Intrasystem EMC Requirements. Proceedings of the EMC 2015 Joint IEEE Int. Symp. on Electrom. Compat. and "EMC Europe", Dresden, Germany, Aug. 16-22, 2015, pp. 1153-1158.

8. V.Mordachev. Electromagnetic Background Created by Base and Mobile Radio Equipment of Cellular Communications. Proc. of the Int. Symp. "EMC Europe 2016", Wroclaw, Poland, Sept. 5-9, 2016, pp.590-595.
9. V.Mordachev, A.Svistunov. Required Levels of Radiation Power of GSM Base Stations on Urban Area Taking Into Account Attenuation in Buildings and Intrasystem EMC.- Proc. of the 2016 Int. Symp. "EMC Europe 2016", Wroclaw, Poland, Sept. 5-9, 2016, pp.596-601.
10. V.Mordachev. System-Level Estimation of Prevailing Levels of EM Fields of Mobile Phones Considering Near-Field Zone Limitations of Their Antennas. Proc. of the Int. Symp. "EMC Europe 2017", Angers, France, Sept. 4-8, 2017, 6p. (paper No.64).
11. A.Svistunov. Validation of Empirical Radiowave Propagation Models for Diagnostics of Intrasystem EMC and Electromagnetic Safety of Microcellular Radio Networks. Proc. of the 2017 Int. Symp. "EMC Europe 2017", Angers, France, Sept. 4-8, 2017, 6p. (paper No.161).
12. V.I.Mordachev. Verification of the worst case model for the estimation of average intensity of the electromagnetic background created by base stations of cellular communications. Doklady BGUIR, 2018, No. 1(111), pp.12-18 (in Russ.).
13. V.Mordachev. Restrictions on Wideband Systems of Mobile Communications of New Generations at Declared Expansion of Data Transfer Rates. Proc. of the Int. Symp. "EMC Europe 2018", Amsterdam, The Netherlands, Aug.27-30, 2018, pp.202-207.
14. A.Svistunov. Estimation of Electromagnetic Background Created by Equipment of Cellular Radio Networks in Urban Areas with High Spatial Density of Subscribers. Proc. of the Int. Symp. "EMC Europe 2018", Amsterdam, The Netherlands, Aug.27-30, 2018, pp.184-189.
15. V.Mordachev. Estimation of Electromagnetic Background Intensity Created by Wireless Systems in Terms of the Prediction of Area Traffic Capacity. Proc. of the Int. Symp. "EMC Europe 2019", Barcelona, Spain, Sept. 2-6, 2019, pp.82-87.
16. V.Mordachev. Verification of Worst-Case Analytical Model for Estimation of Electromagnetic Background Created by Mobile (Cellular) Communications, Proc. of the Int. Symp. "EMC Europe 2020", Rome, Italy, Sept. 7-11, 2020, 6 p. (accepted).
17. A.Svistunou. Estimation of Electromagnetic Background Intensity Created by GSM Cellular Networks Base Stations with High Spatial Density on Urban Area, Proc. of the 2020 Int. Symp. "EMC Europe 2020", Rome, Italy, Sept. 23-25, 2020, 6 p. (accepted).
18. Mordachev V.I. Frequency-independent limits of values of system parameters of cellular communications at multipath propagation of radio waves in urban area. Doklady BGUIR, 2019, No. 7-8(126), pp. 117-124 (in Russ.).
19. Mordachev V.I. Correlation between the potential electromagnetic pollution level and the danger of COVID-19. 4G/5G/6G can be safe for people. Doklady BGUIR. 2020; 18(4): 96-112.
20. www.emc.bsuir.by



Рисунок 1. Изображение санитарно-защитной зоны БС 5G при ее опытной эксплуатации в Минске. В выделенной области наблюдается превышение уровнем ЭМП БС 5G принятого в Беларуси ПДУ ЭМП 0.1 Вт/м². Анализ выполнен для периода наибольшей нагрузки системы 5G СС при работе БС в режиме динамических лучей БС с мощностью ЭМИ в луче 200 Вт.

Предлагаемое содержание сотрудничества:

Принимая во внимание вышесказанное, БГУИР предлагает выполнение совместных исследований, разработок и проектов в области анализа и решения проблем электромагнитной безопасности (ЭМБ), электромагнитной экологии (ЭМЭ) и электромагнитной совместимости (ЭМС) систем СС 4G/5G/6G... включая:

- теоретические и экспериментальные исследования характеристик ЭМБ, ЭМЭ и ЭМС базового и абонентского радиооборудования этих систем в различных диапазонах частот (УВЧ, СВЧ и КВЧ);

- системный анализ ЭМБ и ЭМЭ, математическое и компьютерное моделирование типовых фрагментов и вариантов реализации сложных иерархических систем 4G/5G/6G в различных условиях (город, пригород, сельская местность) и обоснование рекомендаций по реализации систем 4G/5G/6G с наивысшими уровнями ЭМБ и ЭМЭ;

- исследование межсистемной и внутрисистемной ЭМС различных вариантов реализации сложных иерархических радиосетей 4G/5G/6G в различных условиях (город, пригород, сельская местность) и обоснование рекомендаций по уменьшению внутрисистемных помех и увеличению реальной чувствительности радиоприема в сетях 4G/5G/6G, а также обоснование рекомендаций по снижению межсистемных помех в полосах частот совместного использования;

- анализ возможностей и вариантов адаптации ЭМИ БС и МС систем 5G/6G в плотной городской застройке и в местах с высокой плотностью населения для исключения превышения интенсивностью ЭМФ действующих ограничений (ПДУ ЭМП) в местах возможного расположения людей;



- анализ возможностей и вариантов реализации в сетях 5G/6G собственного мониторинга создаваемых этими сетями уровней ЭМФ в местах возможного пребывания людей с целью адаптивного обеспечения гарантированного уровня их ЭМБ для населения;
- разработку и экспериментальную верификацию методики системного анализа ЭМЭ городских и пригородных территорий и ЭМБ населения на основе анализа интегральных системных характеристик радиоэлектронной и ЭМ обстановки (ЭМ нагрузки на территорию, территориальной плотности трафика информационного обслуживания населения, территориальной плотности и технических характеристик БС и МС и т.п.);
- разработку моделей и алгоритмов эффективного контроля и управления процессами ЭМ загрязнения среды обитания в условиях чрезвычайно интенсивного развития систем и услуг 4G/5G/6G, разработку специализированной экспертной системы сбора и обработки информации и компьютерного анализа ЭМ загрязнения городских и пригородных территорий в диапазоне 30 МГц - 300 ГГц, интегрированной с существующими системами информационного обеспечения, с целью реализации высоких стандартов ЭМЭ территории и ЭМБ населения.

Будем также рады рассмотреть любые другие предложения по научно-техническому сотрудничеству и реализации совместных проектов в области ЭМЭ, ЭМБ и ЭМС систем сотовой связи 2G/3G/4G/5G/6G...!

Кратко о БГУИР:

С 2002 г. постановлением Правительства Республики Беларусь БГУИР назначен головной организацией в Республике Беларусь по исследованию проблем защиты от непреднамеренных помех и обеспечения ЭМС радиоэлектронных средств.

Мировая репутация БГУИР в создании передовых технологий в области ЭМС и электромагнитной защиты (ЭМЗ) на системном уровне подтверждается:

- презентациями этих технологий на ведущих международных симпозиумах и выставках в США, Канаде, Китае, Японии, России, Германии, Великобритании, Бельгии, Швейцарии, Испании, Италии, Польше, Индии и др.;
- научными публикациями в ведущих научных изданиях IEEE и EC;
- экспортом высокотехнологической научной продукции и услуг в области ЭМС/ЭМЗ в 10 стран;
- большим опытом специалистов НИЛ ЭМС БГУИР в решении сложных проблем ЭМС/ЭМЗ для Правительства Беларуси, различных белорусских и зарубежных заказчиков;
- широким международным научно-техническим сотрудничеством с учеными Канады, США, Китая, Израиля, Италии, Великобритании, Швеции и других стран.

НИЛ ЭМС РЭС БГУИР будет рада сотрудничеству с Вами в области ЭМС/ЭМЗ и в смежных областях!

BSUIR Technique for EMC/EMP/EME/EMS system analysis & design:



Контакты:

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)
Научно-исследовательская лаборатория «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств»

тел.: (+37517) 2938994, 2938438, www.emc.bsuir.by, emc@bsuir.by

БГУИР, ул. П.Бровки, 6, Минск, 220013, Республика Беларусь