

УДК 621.396.218:614.89.086.5

## НЕОБХОДИМЫЙ И ДОСТАТОЧНЫЙ УРОВЕНЬ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТИ GSM

В.И. МОРДАЧЕВ, А.С. СВИСТУНОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 2 мая 2013*

Приведены оценки уровня эквивалентной изотропно излучаемой мощности в частотных каналах базовых станций сотовой радиосети стандарта GSM 900/1800, необходимого и достаточного для обеспечения эффективного использования выделенного сети радиочастотного ресурса. Анализ выполнен для различных высот подвеса антенн базовых станций, плотности населения, уровней реальной чувствительности радиоприема в сети, размерности кластера частотного планирования и удельной интенсивности трафика.

*Ключевые слова:* радиочастотный ресурс, сотовая связь, ЭИИМ, удельная интенсивность трафика, электромагнитная безопасность.

### Введение

В связи с заметным ростом территориальной плотности базовых станций сотовой связи большой интерес представляет вопрос о воздействии электромагнитного излучения базовых станций (ЭМИ БС) сотовой сети на здоровье человека, особенно если мощность ЭМИ БС является достаточно высокой, а высоты подвеса антенн БС имеют тенденцию к снижению. Сегодня эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) БС сотовой связи стандарта GSM 900/1800 в городах Республики Беларусь определена на уровне 53 дБм/канал (200 Вт/канал частотный, или 25 Вт/канал трафика), что в 100–200 раз выше максимальной средней мощности излучения абонентской станции (АС) и значительно выше реально необходимой для нормального функционирования сотовой связи в местах с высокой плотностью населения.

Завышенная мощность ЭМИ БС в городах представляет опасность для населения, поскольку сотовые радиосети – не единственный источник электромагнитного облучения населения. Завышенные ЭИИМ БС могут реально приводить к увеличению размеров санитарно-защитных зон действующих передающих радиотехнических объектов, которые принято определять по суммарной интенсивности ЭМП [1, 2]. Кроме того, в силу известных особенностей частотно-территориального планирования сотовых радиосетей, обусловленных многократным повторением использования одних и тех же частотных каналов в расположенных недалеко друг от друга сайтах сети и уровень внутрисетевых помех, и связанная с ним реально используемая мощность ЭМИ АС также оказываются завышенными.

Ранее был разработан подход к формированию естественных тенденций к повышению электромагнитной безопасности сотовых радиосетей по мере их развития путем ограничения объема выделяемого этим сетям радиочастотного ресурса (РЧР) [3–5]. Предполагалось, что стремление к расширению абонентской базы сети в условиях ограниченности выделенного сети РЧР должно стимулировать развитие инфраструктуры сети, сопровождающееся естественным уменьшением размеров сайтов и соответствующим уменьшением ЭИИМ БС при сохранении качественного уровня частотно-территориального планирования сети, позволяющего сохранять приемлемые уровни реальной чувствительности радиоприема и мощности ЭМИ АС.

К сожалению, на современном этапе развития сотовой связи в силу ряда обстоятельств использование данного механизма обеспечения электромагнитной безопасности сотовой связи встречает трудности. К этим обстоятельствам следует отнести кризисные явления в экономике и демпинг при предоставлении услуг сотовой связи новыми операторами, искусственно вводимые ограничения на рост тарифов на услуги сотовой связи, существенно снизившие возможности финансирования операторами развития инфраструктуры сотовых сетей, а также введение оплаты за выделение и использование РЧР, относительно низкой но достаточной для появления заинтересованности в выделении операторам дополнительного РЧР хотя бы в интересах увеличения налоговых поступлений, что, к сожалению, не способствует повышению электромагнитной безопасности населения.

Исправление сложившейся ситуации возможно за счет введения более жестких ограничений на используемую ЭИИМ БС в городской застройке. Однако введение таких ограничений должно быть научно обоснованным, чтобы не ухудшить до недопустимого уровня качество сотовой связи.

Целью данной работы является оценка уровней эквивалентной изотропно излучаемой мощности в частотных каналах базовых станций сотовой радиосети стандарта GSM 900/1800, необходимых и достаточных для обеспечения эффективного использования выделенного сети радиочастотного ресурса при различных высотах подвеса антенн базовых станций, плотности населения, уровнях реальной чувствительности радиоприема в сети, размерности кластера частотного планирования и удельной интенсивности трафика.

#### **Методика оценки объема РЧР, который может быть эффективно использован при заданных уровнях ЭИИМ в каналах БС GSM 900/1800**

В работе использованы следующие процедуры определения объема РЧР, который может быть эффективно использован для обработки трафика в сайтах сети, размер которых ограничивается заданными уровнями чувствительности радиоприема и ЭИИМ БС.

1. Определяется наибольший размер (радиус описанной окружности)  $R_{\max}$  сайта, в пределах которого средняя ЭИИМ БС на канал трафика  $P_{BSCF}$ , составляющая восьмую часть средней ЭИИМ  $P_{BSCF}$  в частотном канале БС, не превышает принятого значения. Этот размер зависит от условий распространения радиоволн (РРВ) и минимального используемого уровня  $P_{AS}$  полезного сигнала, соответствующего чувствительности радиоприема АС.

При определении значения  $R_{\max}$  использована модель РРВ на основе эмпирической модели Окамура–Хата [6] с ее интерполяцией на область  $R_{\max} < 1$  км. Величина  $R_{\max}$  определяется предельно допустимыми потерями  $L_0$  при РРВ от БС к АС при заданном уровне  $P_{AS}$  реальной чувствительности радиоприема АС. При этом  $L_0$  [дБ] =  $P_{BSCF}$  [дБм] –  $P_{AS}$  [дБм].

2. Выполняются прогноз пространственной плотности  $\rho_N$  абонентов сотовой связи в сети и расчет планируемого предельного числа абонентов  $N_{AV}$  в сайте размера  $R_{\max}$ .

3. На основе прогнозируемых данных об удельной интенсивности трафика в период максимальной нагрузки оценивается среднее число АС в активном состоянии (объем речевого трафика) в сайте размера  $R_{\max}$ .

4. Используя модель «Erlang–В» теории трафика (предоставление каналов связи в системе массового обслуживания с блокированием вызовов [7]) для уровня вероятности блокирования вызовов не выше 0,01–0,02, характерного для качественной сотовой связи, определяются число каналов  $n_{\text{тр}}$  трафика и объем  $N_{\text{рчр}}$  РЧР (число дуплексных частотных каналов GSM), минимально необходимых для обслуживания абонентов этих сайтов и сети в целом в час максимальной нагрузки, и рассчитываемые с учетом размерности кластера  $Cl$ , используемого при ее частотном планировании. Предполагается, что выделяемый сети объем РЧР не должен превышать величины  $N_{\text{рчр}}$  вследствие его дефицитности, высокой стоимости и требования рациональности и высокой эффективности его использования. Объем РЧР не ограничивается жестко: при получении целых значений числа дуплексных частотных каналов в секторе обслуживания БС округление производится в большую сторону. Учитывается, что в каждом секторе один временной слот (канал) должен использоваться в качестве управляющего (контрольного), приходящегося на четыре дуплексных частотных канала.

*Пример 1.* Число каналов трафика в секторе, необходимое для обслуживания АС,

находящихся на обслуживаемой территории в активном состоянии, составляет  $n_{\text{тр}} = 70$ . Количество частотных дуплексных каналов в этом случае составит  $n_{\text{д}} = 70/8 = 8,75 \approx 9$ , контрольных каналов  $n_{\text{к}} = 9/4 = 2,25 \approx 3$ . Итого суммарное количество частотных дуплексных каналов в секторе  $n_{\Sigma} = n_{\text{д}} + n_{\text{к}} = 12$ . Таким образом, необходимый объем РЧР сети для различной размерности кластера частотного планирования оказывается равным  $N_{\text{рчр}} = 12 \cdot 3 \cdot 4 = 144$  для  $Cl = 4$  и  $N_{\text{рчр}} = 12 \cdot 3 \cdot 7 = 252$  для  $Cl = 7$ .

Анализ взаимосвязи между системными характеристиками сети сотовой связи стандарта GSM при различных значениях территориальной плотности населения и различных схемах кластерного частотного планирования сети выполнен в рамках следующих ограничений.

1. Анализируемый диапазон возможных значений ЭИИМ в частотных каналах БС 40...53 дБВт (10 ... 200 Вт на частотный канал или 1,25...25 Вт средней ЭИИМ на канал трафика).

2. Диапазон анализируемых уровней  $P_{\text{АС}}$  реальной чувствительности радиоприема АС -90...-80 дБм выбран с учетом возможного среднего уровня внутрисетевых помех, усредненного затухания радиоволн в городской застройке для ожидаемых значений  $R_{\text{max}}$  (15–18 дБ), а также с учетом требований хэндовера (передачи обслуживания АС из сайта в сайт при движении). Значения предельно допустимых потерь РРВ  $L_0$  между БС и АС при различных значениях  $P_{\text{БСCF}}$  и  $P_{\text{АС}}$  приведены ниже в таблице.

Таблица 1. Предельно допустимые потери при РРВ между БС и АС при различных значениях ЭИИМ в каналах БС и различной чувствительности радиоприема АС

$P_{\text{АС}}$ [дБм]	$L_0$ [дБ]			
	$P_{\text{БСCF}} = 53$ дБм	$P_{\text{БСCF}} = 50$ дБм	$P_{\text{БСCF}} = 46$ дБм	$P_{\text{БСCF}} = 40$ дБм
-90	134	131	127	121
-80	124	121	117	111

3. Значения высоты  $H_{\text{БС}}$  подвеса антенн БС – в пределах 20–70 м., расчеты выполнены для высокого качества обслуживания, соответствующего вероятности («grade of service»)  $B = 0,99$ .

4. Значения удельной интенсивности трафика в период максимальной нагрузки выбраны в пределах  $E = 0,025$ – $0,08$  эрл., учитывающих тенденции к ее увеличению в сетях сотовой связи до уровней, характерных для проводных телефонных сетей связи общего пользования.

5. Значения территориальной плотности АС выбраны с учетом прогнозных данных [8] о территориальной плотности абонентов сотовой связи в предположении функционирования на рассматриваемой территории трех идентичных операторов сотовой связи стандарта GSM. Значения пространственной плотности абонентов отдельной сотовой сети  $\rho_N$  приняты равными 1000 АС/км<sup>2</sup> для пригородных зон, 3000 АС/км<sup>2</sup> для городских территорий со средне- и малоэтажной городской застройкой, зон отдыха, 10 000 АС/км<sup>2</sup> для густонаселенных жилых районов с многоэтажной городской застройкой высокой плотности, пешеходных зон.

6. Расчеты выполнены для сотовых радиосетей с трехсекторной пространственной структурой и с различной размерностью кластера частотного планирования ( $Cl = 4$  и  $Cl = 7$ ).

7. При расчете объема  $N_{\text{рчр}}$  РЧР сети GSM 900/1800 при различной чувствительности радиоприема АС и различной удельной интенсивности трафика предполагается, что 100 % последнего составляет речевой трафик (передача данных не учитывается).

### Методика оценки электромагнитной нагрузки (ЭМН) на территорию

В работе использованы следующие процедуры определения ЭМН на территорию [9].

1. Определяется суммарная ЭИИМ БС как сумма ЭИИМ БС во всех частотных каналах в секторе БС.

*Пример 2.* Имеется  $n_{\text{д}} = 12$  дуплексных частотных каналов в секторе,  $P_{\text{БСCF}}$  принята равной 100 Вт/канал. Суммарная ЭИИМ БС в этом случае равна  $P_{\text{БС}\Sigma} = n_{\text{д}} P_{\text{БСCF}} = 1200$  Вт.

2. Оценивается величина  $S_{\text{ЭМ}}$  ЭМН на территорию, величина которой ограничена ЭИИМ БС и количеством  $N$  БС, приходящихся на квадратный километр. Пространственная плотность  $\rho_N$  БС является величиной, обратно пропорциональной площади сайта  $S = R_{\text{max}}^2 3^{1.5}/2$ . ЭМН будет равна  $S_{\text{ЭМ}} = N P_{\text{БС}\Sigma}$ ,  $N = 1/S$ .

*Пример 3.* Рассчитывается количество БС, приходящихся на км<sup>2</sup> (радиус сайта  $R_{\text{max}} = 0,653$  км):  $S = 1,107$  км<sup>2</sup>;  $N = 1/S = 1/1,107 = 0,903$  БС/км<sup>2</sup>.  $S_{\text{ЭМ}} = N P_{\text{БС}\Sigma} = 0,903 \cdot 1200 = 1084$  Вт/км<sup>2</sup>.

### Результаты анализа и их обсуждение

Ниже, в табл. 2–5, приведены оценки объема  $N_{рчр}$  РЧР, который может быть эффективно использован при заданном уровне ЭИИМ в каналах БС, и оценки создаваемой при этом ЭМН на территорию  $S_{эм}$  при трехсекторной структуре сайтов.

Таблица 2. Результаты оценок эффективно используемого объема  $N_{рчр}$  РЧР сети GSM 900/1800 и ЭМН на территорию  $S_{эм}$  при чувствительности радиоприема АС  $P_{АС} = -90$  дБм и ЭИИМ БС  $P_{БС} = 53$  дБм (200 Вт/канал БС, 25 Вт/канал трафика) в сайте трехсекторной структуры

$H_{БС}$ , м	$R_{\max}$ , км	$E$ , эрл.	$\rho_N$ , АС/ км <sup>2</sup>								
			10000			3000			1000		
			$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$	$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$	$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$
60	1,22	0,025	2849	1155	660	984	399	228	414	168	96
50	1,13		2904	1008	576	1029	357	204	424	147	84
40	1,03		2908	840	480	1018	294	168	509	147	84
30	0,92		3014	693	396	1096	252	144	457	105	60
20	0,79		3091	525	300	1113	189	108	495	84	48
60	1,22	0,04	4403	1785	1020	1451	588	336	622	252	144
50	1,13		4477	1554	888	1452	504	288	605	210	120
40	1,03		4508	1302	744	1454	420	240	654	189	108
30	0,92		4567	1050	600	1553	357	204	731	168	96
20	0,79		4699	798	456	1608	273	156	618	105	60
60	1,22	0,05	5440	2205	1260	1761	714	408	673	273	156
50	1,13		5566	1932	1104	1815	630	360	726	252	144
40	1,03		5598	1617	924	1818	525	300	727	210	120
30	0,92		5663	1302	744	1827	420	240	822	189	108
20	0,79		5812	987	564	2102	357	204	866	147	84
60	1,22	0,08	8651	3507	2004	2746	1113	636	984	399	228
50	1,13		8652	3003	1716	2723	945	540	1089	378	216
40	1,03		8724	2520	1440	2835	819	468	1091	315	180
30	0,92		8861	2037	1164	2923	672	384	1188	273	156
20	0,79		9027	1533	876	2968	504	288	1113	189	108

Таблица 3. Результаты оценок эффективно используемого объема  $N_{рчр}$  РЧР сети GSM 900/1800 и ЭМН на территорию  $S_{эм}$  при чувствительности радиоприема АС  $P_{АС} = -90$  дБм и ЭИИМ БС  $P_{БС} = 40$  дБм (10 Вт/канал БС, 1,25 Вт/канал трафика) в сайте трехсекторной структуры

$H_{БС}$ , м	$R_{\max}$ , км	$E$ , эрл.	$\rho_N$ , АС/ км <sup>2</sup>								
			10000			3000			1000		
			$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$	$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$	$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$
60	0,50	0,025	188	252	144	78	105	60	47	63	36
50	0,47		178	210	120	71	84	48	53	63	36
40	0,43		186	189	108	83	84	48	62	63	36
30	0,39		199	168	96	100	84	48	75	63	36
20	0,37		226	168	96	85	63	36	57	42	24
60	0,50	0,04	266	357	204	110	147	84	47	63	36
50	0,47		267	315	180	125	147	84	53	63	36
40	0,43		269	273	156	104	105	60	62	63	36
30	0,39		299	252	144	125	105	60	75	63	36
20	0,37		283	210	120	113	84	48	85	63	36
60	0,50	0,05	313	420	240	125	168	96	63	84	48
50	0,47		320	378	216	125	147	84	71	84	48
40	0,43		352	357	204	145	147	84	62	63	36
30	0,39		349	294	168	125	105	60	75	63	36
20	0,37		367	273	156	141	105	60	85	63	36
60	0,50	0,08	469	630	360	188	252	144	78	105	60
50	0,47		498	588	336	178	210	120	71	84	48
40	0,43		497	504	288	186	189	108	83	84	48
30	0,39		498	420	240	199	168	96	100	84	48
20	0,37		509	378	216	198	147	84	113	84	48

Таблица 4. Результаты оценок эффективно используемого объема  $N_{рчр}$  РЧР сети GSM 900/1800 и ЭМН на территорию  $S_{эм}$  при чувствительности радиоприема АС  $P_{АС} = -80$  дБм и ЭИИМ БС  $P_{БС} = 53$  дБм (200 Вт/канал БС, 25 Вт/канал трафика) в сайте трехсекторной структуры

$H_{BS}$ , м	$R_{max}$ , км	$E$ , эрл.	$\rho_N$ , АС/ км <sup>2</sup>								
			10000			3000			1000		
			$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$	$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$	$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$
60	0,61	0,025	3517	357	204	1448	147	84	621	63	36
50	0,57		3305	294	168	1181	105	60	708	63	36
40	0,53		3603	273	156	1386	105	60	832	63	36
30	0,48		3369	210	120	1348	84	48	1011	63	36
20	0,42		3946	189	108	1754	84	48	1315	63	36
60	0,61	0,04	4965	504	288	1862	189	108	828	84	48
50	0,57		5194	462	264	1889	168	96	944	84	48
40	0,53		5266	399	228	1940	147	84	1109	84	48
30	0,48		5054	315	180	2358	147	84	1011	63	36
20	0,42		5700	273	156	2192	105	60	1315	63	36
60	0,61	0,05	6000	609	348	2069	210	120	1034	105	60
50	0,57		5903	525	300	2125	189	108	944	84	48
40	0,53		6375	483	276	2217	168	96	1109	84	48
30	0,48		6401	399	228	2358	147	84	1348	84	48
20	0,42		6577	315	180	2192	105	60	1315	63	36
60	0,61	0,08	9310	945	540	3103	315	180	1448	147	84
50	0,58		9208	819	468	3305	294	168	1653	147	84
40	0,53		9424	714	408	3326	252	144	1386	105	60
30	0,48		9771	609	348	3369	210	120	1685	105	60
20	0,42		10085	483	276	3946	189	108	1754	84	48

Таблица 5. Результаты оценок эффективно используемого объема  $N_{рчр}$  РЧР сети GSM 900/1800 и ЭМН на территорию  $S_{эм}$  при чувствительности радиоприема АС  $P_{АС} = -80$  дБм и ЭИИМ БС  $P_{БС} = 40$  дБм (10 Вт/канал БС, 1,25 Вт/канал трафика) в сайте трехсекторной структуры

$H_{BS}$ , м	$R_{max}$ , км	$E$ , эрл.	$\rho_N$ , АС/ км <sup>2</sup>								
			10000			3000			1000		
			$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$	$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$	$S_{эм}$ , Вт/км <sup>2</sup>	$N_{рчр}$ $CI = 7$	$N_{рчр}$ $CI = 4$
60	0,25	0,025	250	84	48	188	63	36	125	42	24
50	0,24		279	84	48	209	63	36	139	42	24
40	0,22		315	84	48	236	63	36	158	42	24
30	0,20		370	84	48	185	42	24	185	42	24
20	0,18		341	63	36	227	42	24	227	42	24
60	0,25	0,04	313	105	60	188	63	36	125	42	24
50	0,24		348	105	60	209	63	36	139	42	24
40	0,22		394	105	60	236	63	36	158	42	24
30	0,20		370	84	48	277	63	36	185	42	24
20	0,184		455	84	48	341	63	36	227	42	24
60	0,25	0,05	438	147	84	188	63	36	125	42	24
50	0,24		488	147	84	209	63	36	139	42	24
40	0,22		394	105	60	236	63	36	158	42	24
30	0,20		462	105	60	277	63	36	185	42	24
20	0,18		455	84	48	341	63	36	227	42	24
60	0,25	0,08	563	189	108	250	84	48	188	63	36
50	0,24		627	189	108	279	84	48	209	63	36
40	0,22		630	168	96	315	84	48	236	63	36
30	0,20		647	147	84	277	63	36	185	42	24
20	0,18		796	147	84	341	63	36	227	42	24

Анализ полученных данных, а также аналогичных оценок для промежуточных значений ЭИИМ БС в интервале 40–53 дБм, позволяет сделать следующие выводы.

1. При ЭИИМ БС 53 дБм/канал объем РЧР, который может быть эффективно использован для обслуживания трафика в местах с высокой плотностью населения активно использующего сотовую связь ( $E = 0,05-0,08$  эрл.), даже при невысоком качестве частотно-территориального планирования сети ( $P_{АС} = -80$  дБм) в 2–3 раза превышает реально

выделяемый оператору объем РЧР, (150–170 частотных каналов при наличии трех сетей GSM), а при высоком качестве частотно–территориального планирования сети это превышение составляет 5–10 раз. Таким образом, столь высокая канальная мощность БС не стимулирует повышения качества сетевого планирования и оптимизации, стимулируя лишь увеличение совокупной ЭМН на территорию до уровней 20–30 кВт/км<sup>2</sup>, вдвое превышающих фактически сложившийся уровень ЭМН на территорию в плотной городской застройке крупных населенных пунктов, и лишь вдвое ниже критического уровня [9]. Последнее крайне нежелательно, поскольку БС являются далеко не единственными, а во многих случаях и не самыми мощными источниками ЭМИ на густонаселенной территории.

2. Объем РЧР, выделяемый каждому из сотовых операторов, примерно соответствует объему РЧР, при котором еще сохраняется мотивация к развитию инфраструктуры сети с высоким качеством частотно–территориального планирования (реальная чувствительность радиоприема в сети –90 дБм), и значительно превышает уровень, при котором эта мотивация может приниматься в расчет при эксплуатации сетей GSM с высокими уровнями внутрисетевой помехи (реальная чувствительность радиоприема в сети –80 дБм) [4,5].

В то же время:

– объем РЧР порядка 150–170 частотных каналов GSM в целом соответствует необходимому и достаточному объему РЧР, который может быть эффективно использован при ЭИИМ БС 40 дБм/канал (10 Вт/канал) для обработки трафика в местах с высокой плотностью населения  $\rho_N = 3000–10000$  АС/ км<sup>2</sup> при высокой удельной интенсивности трафика  $E = 0,05–0,08$  эрл. и в диапазоне значений высот подвеса антенн БС, характерных для городской застройки  $H = 20–50$  м (табл. 3);

– при ЭИИМ БС 40 дБм/канал (10 Вт/канал),  $E = 0,05–0,08$  эрл. и  $H = 20–50$  м этот объем РЧР не может быть эффективно использован при невысоком качестве частотного планирования сети, при котором высокий уровень внутрисетевой помехи приводит к ухудшению реальной чувствительности радиоприема до –80 дБм. В этих условиях высокая эффективность использования РЧР даже в местах с высокой плотностью населения может быть обеспечена лишь при выделении каждому оператору не более 100 каналов (табл. 5).

3. Следует особо отметить, что при ЭИИМ БС 40 дБм/канал (табл. 3, 5) суммарная ЭМН на территорию, создаваемая всеми радиосетями GSM 900/1800, составляет всего 0,7–1,5 кВт/км<sup>2</sup> при  $P_{AS} = -90$  дБм, и 1,4–2,4 кВт/км<sup>2</sup> при  $P_{AS} = -80$  дБм, что в 5–10 раз ниже реально существующей ЭМН на городскую территорию, достигающей 10–15 кВт/км<sup>2</sup> в крупных городах Республики Беларусь.

4. В табл. 6 приведены оценки средней территориальной плотности БС  $\rho_{BS}$ , ед/км<sup>2</sup>, полученные по данным табл. 2–5 для случая функционирования трех идентичных сетей GSM 900/1800. Принимая во внимание, что на момент выполнения этих расчетов фактическая территориальная плотность БС в крупных городах Республики Беларусь достигла уровня 5–7 ед/км<sup>2</sup> (1,5–2,5 ед/км<sup>2</sup> для БС каждого из действующих операторов), приходим к заключению, что снижение ЭИИМ БС с 53 дБм/канал до 40–43 дБм/канал:

– при одновременном улучшении качества частотно–территориального планирования и оптимизации сети, направленных на снижение уровня внутрисетевых помех и увеличения чувствительности радиоприема в сети до –85...–90 дБм, может выполняться в рамках существующей инфраструктуры сетей и не требует значительных дополнительных инвестиций.

– без выполнения работ, направленных на снижение уровня внутрисетевых помех, такое снижение ЭИИМ практически невозможно, поскольку потребует весьма значительного увеличения территориальной плотности БС в городской застройке – по меньшей мере в 2–3 раза.

Таблица 6. Оценки средней территориальной плотности БС  $\rho_{BS}$ , ед/км<sup>2</sup> для данных таблиц 2–5 при функционировании трех сетей GSM 900/1800

$H_{BS}$ , м	$P_{AS} = -90$ дБм				$P_{AS} = -80$ дБм			
	$P_{BS} = 53$ дБм		$P_{BS} = 40$ дБм		$P_{BS} = 53$ дБм		$P_{BS} = 40$ дБм	
	$R_{max}$ , км	$\rho_{BS}$ , ед./км <sup>2</sup>	$R_{max}$ , км	$\rho_{BS}$ , ед./км <sup>2</sup>	$R_{max}$ , км	$\rho_{BS}$ , ед./км <sup>2</sup>	$R_{max}$ , км	$\rho_{BS}$ , ед./км <sup>2</sup>
60	1,22	0,64	0,50	3,8	0,61	2,6	0,25	15,3
50	1,13	0,75	0,47	4,3	0,57	2,9	0,24	16,6
40	1,03	0,90	0,43	5,2	0,53	3,4	0,22	19,7
30	0,92	1,1	0,39	6,3	0,48	4,1	0,20	23,9
20	0,79	1,5	0,37	7,0	0,42	5,4	0,18	29,5

### Выводы

Ограничение ЭИИМ БС в сетях GSM 900/1800 до уровня 40–43 дБм/канал в городской застройке:

– позволяет обеспечить высокую эффективность использования РЧР операторами сотовой связи, существенно снизить вынужденные экологические риски для здоровья населения, обусловленные ЭМИ БС, и вплотную приблизиться к уровням ЭМИ АС, обеспечивающим допустимый уровень добровольных экологических рисков пользователей сотовой связи;

– может выполняться с сохранением высокого качества связи и в рамках существующей инфраструктуры сетей, стимулируя усилия операторов по совершенствованию частотно–территориального планирования и оптимизации радиосетей.

Это снижение ЭИИМ БС имеет смысл в местах с высокой территориальной плотностью БС, позволяя существенно уменьшить ЭМН на территорию и способствуя улучшению электромагнитной экологии среды обитания и существенному повышению электромагнитной безопасности населения на густонаселенной городской территории.

## REQUIRED AND SUFFICIENT LEVEL OF GSM BASE STATIONS ELECTROMAGNETIC RADIATION POWER

V.I. MORDACHEV, A.S. SVISTUNOV

### Abstract

Estimations of levels of the equivalent isotropic radiated power in frequency channels of GSM 900/1800 base stations (BS) which are required and sufficient for the effective utilization of radio–frequency resource allocated to the GSM network, are resulted. Analysis is performed for various BS antenna heights, various population density, various levels of real sensitivity of BS radio reception, various cluster dimension of GSM network frequency planning and different specific traffic intensity.

### Список литературы

1. СанПиН «Гигиенические требования к установке и эксплуатации систем сотовой связи».
2. Оценка риска для здоровья населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями сотовой подвижной электросвязи и широкополосного беспроводного доступа. Инструкция по применению.
3. Мордачев В.И. Системная экология сотовой радиосвязи. Минск, 2009.
4. Мордачев В.И., Свистунов А.С. // Докл. БГУИР. 2010. № 8(54). С. 46–53.
5. Мордачев В.И., Свистунов А.С. // Докл. БГУИР. 2011. № 7(61). С. 15–22.
6. Recommendation ITU–R P.529–3.
7. Asha Mehrotra. Cellular Radio: Analog and Digital Systems. Artech House Publishers. London, 1994.
8. Recommendation ITU–R M.1390.
9. Мордачев В.И. // Докл. БГУИР. 2012. № 6 (68). С. 116–123.