

УДК 537.87

Модель электромагнитных полей, формируемых автоматизированным рабочим местом объекта информатизации

Викторов В. А.

Постановка задачи: при решении некоторых прикладных задач электромагнитной безопасности операторов, электромагнитной совместимости технических средств, находящихся на автоматизированном рабочем месте, и защиты информации от утечки по побочным каналам электромагнитных излучений и наводок, зачастую возникает проблема, связанная с контролем уровней электромагнитных полей, создаваемых средствами вычислительной техники. **Целью работы** является создание дискретной модели автоматизированного рабочего места, с помощью которой будет представлена возможность прогнозировать электромагнитную обстановку и производить расчеты электромагнитного поля в заданных точках пространства автоматизированного рабочего места по известным параметрам источников излучения, включая их расположение в модели. Расчеты проводятся для оценки воздействия электромагнитных полей, создаваемые техническими устройствами автоматизированного рабочего места, на организм оператора. **Используемые методы:** при представлении всего пространства автоматизированного рабочего места в виде дискретной модели учитываются все материальные тела, находящиеся в исследуемой области: стены помещений, ткани операторов, источники излучений и предметы интерьера. Изложенный в статье подход позволил перейти от реального представления автоматизированного рабочего места к его модели, представленной в дискретном пространстве, состоящем из множества элементарных кубических ячеек. Выходные данные дискретной модели, полученные по авторскому алгоритму, хорошо сопрягаются с методом конечных разностей во временной области. **Новизна** заключается в том, что была разработана дискретная модель автоматизированного рабочего места для целей анализа электромагнитной обстановки с учетом многообразия источников излучения на автоматизированном рабочем месте. Впервые моделирование сигналов технических средств, расположенных на автоматизированном рабочем месте, проводится совокупностью гармонических составляющих, в сумме образующих с заданной точностью 10% априорно известный спектр сигнала. Гармонические составляющие определяются при помощи авторского алгоритма, представленного в данной статье. **Результат:** изложенное решение смоделированного автоматизированного рабочего места полностью удовлетворяет как внешним, так и внутренним требованиям, предъявляемым к моделям, и идеально подходит для прогнозирования электромагнитного поля методом конечных разностей во временной области. Адекватность такой модели производилась путем решения тестовых задач, в которых задавались простые геометрические фигуры, и проводился расчет относительной погрешности. Результаты, полученные путем сравнения значений расчетов объема фигур и объема их моделей, показал, что относительная погрешность представления исследуемого пространства кубическими ячейками зависит от величины коэффициента детализации. При шаге детализации $\lambda/20$ погрешность составляет менее 5%. **Практическая значимость** полученных результатов в основном определяется возможностью их использования в качестве исходных данных для статистического имитационного моделирования безопасности оператора автоматизированного рабочего места. Представленное решение прошло апробацию и реализовано в специализированном программном обеспечении «Модель прогноза электромагнитной обстановки на объектах систем управления», свидетельство о государственной регистрации программы №2019617181 от 06.05.2019 г, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 04.06.2019 г.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, электромагнитная безопасность оператора, метод конечных разностей во временной области, объект информатизации, дискретная модель.

Библиографическая ссылка на статью:

Викторов В. А. Модель электромагнитных полей, формируемых автоматизированным рабочим местом объекта информатизации // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 1-32. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10101.

Reference for citation:

Viktorov V. A. The model of electromagnetic fields that generate by an automated workplace of an object of informatization. Systems of Control, Communication and Security, 2020, no. 1, pp. 1-32. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10101 (in Russian).

Введение

Электромагнитные излучения всех диапазонов представляют серьезную опасность, как для жизни, так и для здоровья человека – всемирная организация здравоохранения включила проблему электромагнитного загрязнения окружающей среды в перечень приоритетных проблем человечества. Проблемы электромагнитного мониторинга технических средств, являющихся источниками электромагнитных полей, активно изучаются учеными с середины прошлого века, исследованиям в этой области посвящено немало работ. Так, в статье [1], рассматриваются проблемы влияния электромагнитных полей (ЭМП) и электромагнитных излучений (ЭМИ) на биообъекты; в статье [2] создана приближенная расчетная модель видеодисплейного терминала персональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ) путем замены последнего системой эквивалентных элементарных излучателей; материалы в [3-7] посвящены расчету и моделированию ЭМП технических средств; в [8] проведено исследование электромагнитных полей в окружающей среде от компьютерного комплекса с позиции допустимых требований по электромагнитной безопасности; в статье [9] рассмотрены вопросы перехвата побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ), возникающих при выводе изображения на экран монитора, оптимальным приемником (предложены математическая модель и методика оценки возможностей перехвата ПЭМИ видеосистемы компьютера техническими средствами разведки); в [10] проведено исследование уровней и спектров высших гармоник тока в электрических сетях питания компьютерной техники, а также даны рекомендации по организации мероприятий обеспечения электромагнитной совместимости в кабельных каналах и в системах связи.

За рубежом, в странах Содружества Независимых Государств (СНГ), также активно проводятся исследования, связанные с моделированием ПЭМИ ПЭВМ, так в статье [11] предложены математическая модель и методика оценки возможностей перехвата ПЭМИ видеосистемы компьютера техническими средствами разведки (ТСР). Наиболее известными зарубежными публикациями, посвященными разработке программных средств электродинамического анализа, стали работы Бурка Г. Ж (Burke G. J.), Поджо А. Ж (Poggio A. J.), Миллера Е. К (Miller E. K.) и Адамса Р. В (Adams R. W.). В работах [12-15], представлены результаты, которые стали основой различных версий известных программных пакетов моделирования электромагнитных полей, таких как, AMP (Antenna Modeling Program) [16, 17] и NEC (Numerical Electromagnetic Code) [18, 19]. Вопросы расчета электромагнитных полей излучающих технических средств достаточно хорошо изложены в [14, 15, 20, 21].

Однако анализ опубликованных работ указывает на то, что практически не решенной остается задача расчета поля источников сложной конфигурации и произвольных частотных диапазонов, расположенных внутри помещений. Основываясь на представленные в литературе классификацию источников радиоизлучений и разработки моделей, можно сделать вывод, что задача моделирования процесса распространения электромагнитных волн в сложной геометрической обстановке весьма не проста. Кроме этого, известно, что все излучения от технических средств являются сложными сигналами, моделирование их рас-

пространения с точки зрения классической электродинамики, также усложняет решение задачи моделирования [22].

Следует осторожно относиться к инструментальному исследованию электромагнитной обстановки в любых помещениях. Измерения в местах затенения или вблизи различных переизлучающих конструкций могут привести к непредсказуемым результатам. Практика показывает, что инструментальная оценка электромагнитной обстановки вблизи комплексов технических средств при смешанном воздействии ЭМП порой просто невозможна [3]. Проведения инструментальных исследований на автоматизированном рабочем месте (АРМ) невозможны без отрыва операторов от их функциональных повседневных задач, а также нецелесообразна из расчета стоимости таких услуг при привлечении профильных специалистов в данной области. Ориентировочная стоимость таких измерений представлена в таблице 1 [23].

Таблица 1 – Ориентировочная стоимость работ по измерению уровней электромагнитного поля в помещении площадью от 10 до 50 м²

Наименование проводимых работ	Цена, руб.
Измерение опасных для здоровья излучений	4 000 000
Измерение электромагнитных полей низких частот 50 Гц – 400 КГц	1 200 000
Измерение электромагнитных полей радио- и СВЧ-диапазонов до 3 ГГц	2 400 000
Измерение электромагнитного поглощения оконных рам, дверей, стен	2 350 000

Из таблицы видно, что суммарная стоимость измерений излучений ЭМП только от основного источника АРМ, ПЭВМ, расположенной в одном конкретном месте относительно окружающих ее предметов интерьера, стен, окон, дверей – около 10 миллионов рублей. При этом попытки поиска оптимального расположения ПЭВМ на АРМ с целью минимизации уровня излучений, как на организм оператора, так и для защиты информации от утечки по ПЭМИН, могут привести к неоправданным финансовым расходам. Кроме того, при любых проводимых измерениях необходимо проводить повторные. В ряде случаев измерение уровней сигналов вообще не может быть осуществлено из-за отсутствия объекта исследования. Типовым примером такой ситуации является проведение архитектурного планирования строительства нового здания, в котором предполагается размещение АРМ. В такой ситуации, исключение необоснованных финансовых потерь на проведение анализа электромагнитной обстановки внутри и за пределами помещения АРМ, с целью исследования влияния ЭМП на организм оператора, возможно только при применении средств моделирования распространения ЭМП от источников излучений. Таким образом, именно моделирование позволило бы существенно сократить затраты на поиск оптимальных технических решений по защите операторов от воздействия электромагнитных полей.

Расчетное прогнозирование является весьма сложной вычислительно-трудоемкой задачей. Всегда встает вопрос о точности расчетов ЭМП, которая определяется степенью детализации, как самих излучающих элементов (аппроксимацией источников), так и окружающей обстановкой (детализацией предметов выбранного места исследования). Выбор метода расчета определяется с одной стороны необходимой точностью прогнозирования, с другой стороны, возможностью реализации выбранного метода на имеющейся вычислительной технике [3].

В результате изложенных выше причин можно прийти к выводу, что моделирование ЭМП является актуальной задачей при проведении электромагнитной экспертизы излучающих технических средств АРМ. Именно при помощи модели АРМ и выбранного метода численного прогноза появляется возможность составить санитарный паспорт всех излучающих технических средств на АРМ, в котором в обязательном порядке должны быть включены материалы расчетов ЭМП и санитарных зон [3]. Таким образом, возникает необходимость в разработке такой дискретной модели АРМ, которая хорошо сопрягалась бы с одним из современных численных методов моделирования ЭМП, при этом и моделирование АРМ и сам метод расчетного прогнозирования должны быть реализуемы на доступном парке вычислительной техники.

В настоящее время в литературе широко описаны методы численного моделирования ЭМП, в основе которых лежит решение систем дифференциальных уравнений, применяемых в вычислительной электродинамике, по классификации [24-28]:

- метод граничных элементов (метод моментов);
- метод конечных элементов;
- метод конечных разностей во временной области.

Методы моментов и конечных элементов являются более сложными и требуют большего числа вычислений по сравнению с методом конечных разностей во временной области. В силу этого обстоятельства, выходные данные разработанной дискретной модели АРМ будем предполагать применять именно для моделирования ЭМП методом конечных разностей во временной области.

Создание в современных вычислительных машинах архитектуры, основанной на применении графической информации, позволяет разрабатывать альтернативные способы решения задач моделирования геометрически сложных объектов [29]. Целью работы является создание дискретной модели автоматизированного рабочего места, при помощи которой возможно будет прогнозировать электромагнитную обстановку и производить расчеты электромагнитного поля в заданных точках пространства автоматизированного рабочего места по известным параметрам источников излучения, включая их расположение в модели. Расчеты проводятся для оценки воздействия электромагнитных полей, создаваемые техническими устройствами автоматизированного рабочего места, на организм оператора.

Постановка задачи

Контроль за соблюдением предельно допустимых уровней электромагнитного поля осуществляется как при эксплуатации зданий, помещений с АРМ, так и на стадии их проектирования. В нормативной документации введено требование, что проектная документация на излучающие объекты в разделе «Мероприятия по охране окружающей среды» должна содержать результаты расчета электромагнитной обстановки, границ санитарных зон, а также исходные данные, использованные при выполнении этих расчетов. Каждый потенциальный источник излучения ЭМП, согласно действующим нормам должен иметь санитарный паспорт, который кроме организационных и технических сведений об объекте должен содержать ситуационный план объекта с указанием как границы санитарно-защитной зоны и времени пребывания персонала в зонах повышенной концентрации ЭМП, так и материалы расчета распределения уровней ЭМП на автоматизированных рабочих местах и на территориях, прилегающих к ним [3].

При решении задачи разработки модели АРМ должны быть учтены все материальные тела, находящиеся в исследуемой области пространства. Это означает, что должны быть учтены стены помещения, ткани тела оператора, а также все находящиеся на АРМ, внутри помещения, предметы, макроскопические параметры которых (как сред существования электромагнитного поля) отличаются от свободного пространства (воздуха). Время, затрачиваемое на аналитическое описание сложных геометрических моделей и их верификацию, влияет на увеличение трудоемкости описания и увеличение этапов процесса проектирования. Поэтому, основным требованием является, чтобы выходных данные модели подходили для проведения дальнейших исследований выбранным методом расчетного прогнозирования электромагнитного поля – методом конечных разностей во временной области (МКРВО), в целях оценки влияния электромагнитных полей на организм оператора, а также для целей санитарно-гигиенической экспертизы.

Входными данными модели являются:

- трехмерный план V автоматизированного рабочего места, включающий в себя все материальные тела, находящиеся в исследуемой области пространства, представленный в виде набора элементарных кубических ячеек $v \in V$. Полученное, таким образом, трехмерное изображение представляет собой трехмерный массив данных «объемной картины» АРМ, в каждый элемент такого массива записаны три значения, каждое из которых соответствует интенсивности (в диапазоне от 0 до 255) соответственно красной, зеленой и синей составляющих цвета $C(R, G, B)$. Заданный таким образом цвет C однозначно сопоставлен с типом материала из таблицы 3 или тканью оператора из таблицы 4. Кубические ячейки являются выборкой значений функции на декартовой сетке координат, которая может быть записана как $V = \{ F(i, j, k) \mid i, j, k, \text{ где } i, j, k - \text{индексы в } x, y, z \text{ декартовых координат сетки} \}$. Кубические ячейки раскрашены в зависимости от типа материала или ткани оператора. Пример подобной раскраски представлен

на рис. 1. Обычно такой план может быть включен в проектный паспорт АРМ, или он может быть составлен как при помощи специализированных программных средств, так и при помощи снимков, сделанных под разными углами (порядка 50-200 снимков), которые потом обрабатываются, и создается единый трехмерный план исследуемого пространства;

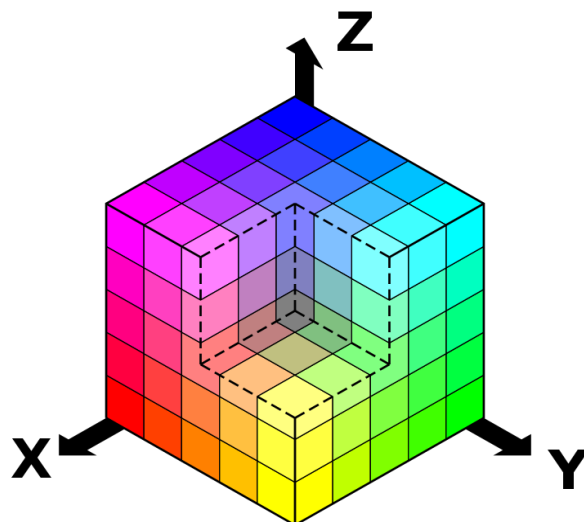


Рис. 1. Пример раскраски кубических ячеек в трехмерного плана V автоматизированного рабочего места

- таблица с перечнем источников излучения электромагнитных полей АРМ, расположение каждого в пределах АРМ априорно известно из трехмерного плана V. В таблице 2 представлены основные источники излучения электромагнитных полей АРМ. Таблица, приведенная в [8, 10], дополнена данными устройства беспроводного доступа стандарта Wi-Fi [30], а также устройства активной защита от утечки по побочным каналам электромагнитных излучений и наводок [31];

Таблица 2 – Перечень основных источников электромагнитного поля АРМ

Источник	Диапазон частот
Системный блок (процессор, память, накопитель)	50 Гц – 1000 МГц
Монитор	0 Гц – 110 кГц
Принтер	50 Гц – 200 МГц
Точка беспроводного доступа стандарта Wi-Fi	2,4 ГГц, 5 ГГц
Источники бесперебойного питания	50 Гц; 20 – 100 кГц
Ноутбук	0 Гц – 1000 МГц
Устройство активной защиты информации от утечки по побочным каналам электромагнитных излучений и наводок	0 Гц – 5 ГГц

- таблица со значениями относительной диэлектрической проницаемости ϵ и удельной проводимости σ строительных материалов и материа-

лов объектов, расположенных на АРМ. В таблице 3 [32, 33] представлены значения ε и σ , которые использовались для построения выходных данных дискретной модели, на основе которых предполагается рассчитывать электромагнитное поле МКРВО;

Таблица 3 – Значения относительной диэлектрической проницаемости и удельной проводимости материальных тел, находящихся в исследуемой области АРМ

Цвет, $C (R, G, B)$	Материал	3Гц - 300МГц		>300МГц - 10ГГц		>10-20 ГГц	
		ε	σ , См/м	ε	σ , См/м	ε	σ , См/м
0, 0, 255	Кирпич	3,75	0,0945	3,61	0,544	3,45	0,0445
255, 255, 255	Бетон	5,3	0,0501	5,43	1,43	5,23	0,123
255, 0, 0	Дерево	1,99	0,0654	1,83	0,30	1,74	0,138
128, 155, 142	Плита из штукатурки	2,94	0,455	2,64	0,564	2,35	0,461
198, 204, 79	Доска из фанеры	3,66	0,0599	3,51	0,232	2,76	0,187
197, 44, 78	Доска деревянная (22мм)	2,85	0,1587	2,95	0,587	3,42	0,213
0, 255, 0	Стекло	6,27	0,299	6,11	0,518	5,77	0,574
0, 250, 37	Сетчатое стекло (5мм)	8,02	0,00081	8,92	0,00014	7,52	0,00061
181, 116, 102	Блок термалитовый	2,93	0,370	2,72	2,19	2,69	0,121
65, 210, 218	Потолочный настил (8,8 мм, rockwool)	3,66	0,419	3,37	0,202	3,96	0,114
136, 147, 140	Напольное покрытие (24,8 мм, синтетическая смола)	3,22	0,411	3,34	0,229	4,13	0,128
138, 123, 159	Плитка керамогранитная	6,72	1,01	6,22	1,88	5,36	0,108
152, 130, 153	Мрамор	7,20	0,266	6,30	0,270	6,80	0,232
255, 255, 0	Металл	1,00	0,000001	1,00	0,000001	1,00	0,000001
189, 189, 94	Древесностружечная плита	2,06	1,38	1,91	1,68	2,18	0,098
50, 255, 50	Стекловолокно	1,20	0,0601	1,90	0,501	1,50	0,0629
205, 205, 205	Газобетон (50 мм)	2,26	0,988	2,38	5,28	2,89	0,315
157, 154, 40	Гипсокартон (5 мм, 1 слой)	2,48	2,07	2,19	1,97	2,24	2,01
140, 138, 36	Гипсокартон (5 мм, 2 слоя)	1,84	1,48	1,62	0,123	1,79	0,0125
130, 138, 44	Плексиглас	2,76	0,068	2,16	0,028	3,06	0,014
131, 167, 89	Термолитовый блок	4,99	1,07	3,68	0,220	4,23	0,601
0, 0, 240	Кирпич из мела с отверстиями	3,95	0,244	2,89	0,123	3,64	0,331
16, 15, 16	Потолочная доска	1,58	0,0421	2,18	0,0311	1,89	0,0456

Таблица 4 – Значения относительной диэлектрической проницаемости
и удельной проводимости тканей оператора

Цвет, C (R, G, B)	Ткань	3Гц - 300МГц		>300МГц - 10ГГц		>10 - 20ГГц	
		ε	σ , См/м	ε	σ , См/м	ε	σ , См/м
226, 208, 50	Желчь	110,0	1,46	70,0	1,88	46,5	26,0
227, 63, 49	Кровь	94,2	1,19	61,1	1,58	37,3	21,2
248, 248, 248	Кость	33,3	0,155	20,6	0,364	10,5	5,62
85, 85, 85	Костный мозг	18,3	0,151	11,2	0,239	6,18	2,87
95, 95, 95	Мозг (серое вещество)	18,3	0,151	11,2	0,239	6,18	2,87
150, 150, 150	Молочная железа	78,0	0,770	59,5	1,08	37,7	20,1
150, 27, 49	Грудной жир	5,58	0,0312	4,65	0,35	3,44	1,01
204, 102, 0	Бронхи	63,4	0,519	41,8	0,802	25,9	14,0
239, 214, 198	Хрящ	68,5	0,441	42,3	0,829	20,3	13,1
153, 51, 102	Мозжечок	138,0	0,678	48,9	1,31	29,0	15,6
255, 204, 0	Пищевод	92,2	0,866	64,8	1,23	40,8	22,0
173, 169, 144	Глаз	94,2	1,19	61,1	1,58	37,3	21,2
239, 214, 198	Жир	14,5	0,0648	11,3	0,116	7,79	2,76
204, 126, 74	Желчный пузырь	91,0	0,945	59,0	1,29	39,4	21,4
255, 37, 37	Сердце	94,2	1,19	61,1	1,58	37,3	21,2
204, 153, 51	Межпозвоночный диск	52,0	0,840	43,1	1,14	32,1	6,27
153, 51, 51	Почка	134,0	0,706	57,9	1,45	33,6	18,5
102, 102, 153	Толстая кишка	104,0	0,616	57,5	1,13	35,0	18,8
0, 80, 168	Гортань	68,5	0,441	42,3	0,829	20,3	13,1
204, 102, 80	Печень	89,1	0,428	46,4	0,897	26,7	15,0
51, 204, 255	Легкое	41,3	0,280	21,8	0,474	13,7	6,83
204, 204, 153	Лимфоузлы	84,4	0,597	79,6	0,740	74,7	2,94
204, 204, 204	Нижняя челюсть	17,7	0,0571	12,4	0,156	6,87	3,14
102, 102, 102	Мениск	68,5	0,441	42,3	0,829	20,3	13,1
255, 124, 128	Мышцы	77,1	0,678	54,8	0,978	36,4	17,9
203, 152, 151	Слизистая оболочка	60,2	0,743	49,5	4,04	36,4	17,9
204, 153, 153	Нерв	60,8	0,299	32,3	0,60	20,2	9,83
204, 102, 102	Поджелудочная железа	78,0	0,770	59,5	1,08	37,7	20,1
255, 255, 102	Простата	91,6	0,871	60,3	1,25	37,7	20,3
104, 102, 51	Слюнная железа	78,7	0,70	72,7	1,51	70,6	3,23
255, 204, 204	Кожа	107,0	0,405	40,9	0,90	26,4	13,8
155, 63, 47	Череп	24,4	0,196	10,0	0,962	10,5	5,62
104, 153, 153	Тонкая кишка	135,0	1,56	58,9	2,22	35,1	20,0
51, 153, 102	Спиной мозг	60,8	0,299	32,3	0,60	20,2	9,83
98, 153, 153	Селезенка	126,0	0,713	56,6	1,32	33,9	18,4
126, 108, 10	Желудок	92,2	0,866	64,8	1,23	40,8	22,0
123, 69, 57	Сухожилия\Связки	63,8	0,465	45,6	0,76	22,7	15,5
55, 26, 55	Щетовидная железа	78,0	0,770	59,5	1,08	37,7	20,1
27, 8, 49	Язык	81,1	0,641	55,0	0,975	34,7	18,3
11, 12, 13	Зуб	17,7	0,0571	12,4	0,156	6,87	3,14
155, 25, 5	Трахея	63,4	0,519	41,8	0,802	25,9	14,0
98, 158, 42	Надпочечник	63,0	0,652	56,5	1,56	54,1	3,48
110, 55, 123	Спинномозговая жидкость	76,8	2,19	62,0	6,60	43,7	24,7
56, 32, 15	Мочеточник\Уретра	74,4	0,412	44,6	0,729	26,9	14,8
126, 73, 91	Стена мочевого пузыря	26,0	0,284	18,9	0,397	11,7	6,04
110, 110, 110	Позвонки	17,7	0,0571	12,4	0,156	6,87	3,14

- таблица со значениями относительной диэлектрической проницаемости ε и удельной проводимости σ тканей оператора. В таблице 4 [34] представлены значения ε и σ , которые использовались для построения выходных данных дискретной модели, на основе которых предполагается рассчитывать электромагнитное поле МКРВО;
- λ , м – длина волны, выраженная в метрах, вычисляется из расчета того, что для всех электромагнитных волн скорость в вакууме ν одинакова и равна скорости света $c = 299792458$ м/с, следовательно, $\lambda = 299792458 / f$, где f – частота источника излучения в герцах.
- K – коэффициент детализации кубических ячеек, характеризующий во сколько раз размер ячеек декартовой сетки дискретной модели АРМ будут меньше длины волны. Для обеспечения приемлемой точности вычислений (погрешность менее 10%) данному коэффициенту должно быть установлено значение больше десяти;
- L_x, L_y, L_z – размеры исследуемого пространства в метрах, по оси x , по оси y , по оси z соответственно.

В кубические ячейки, которые не отображают никакие материальные тела АРМ (без материалов, воздух), записывается значение цвета $C(0, 0, 0)$. Отметим, что все представленные материалы в таблице 3, ткани оператора в таблице 4 существенно не могут менять величину магнитного поля АРМ т.к. не относятся к ферромагнитным материалам или тканям, обладающим магнитной проницаемостью μ , значение которой намного больше единицы. Исходя из этого, значения магнитной проницаемости μ для всех представленных материалов и тканей оператора в массиве выходных данных будем устанавливать в единицу. Также установим погрешность моделирования источников излучения не ниже 10%.

Выходными данными дискретной модели является:

- $M_{\text{вых}}$ – трехмерный массив данных, число элементов которого соответствует числу кубических ячеек в трехмерном плане V исходных данных. В данный массив записываются одним элементом массива значения ε , μ и σ материальных тел или тканей должностных лиц из таблиц 3, 4, которые представлены соответствующей кубической ячейкой пространства дискретной модели.

Решение

Схема алгоритма формирования трехмерного массива $M_{\text{вых}}$ выходных данных дискретной модели АРМ представлена на рис. 2. Рассмотрим его основные блоки.

В начале, инициализируются исходные данные, необходимые для формирования трехмерного массива выходных данных дискретной модели (блок 1 на рис. 2). В блоке 2 на рис. 2 происходит загрузка трехмерного плана V исследуемого пространства АРМ для дальнейших расчетов. В блоке 3 на рис. 2 происходит выделение памяти под трехмерный массив $M_{\text{вых}}$ выходных данных дискретной модели, а также происходит инициализация выделенной памяти нулевыми значениями.

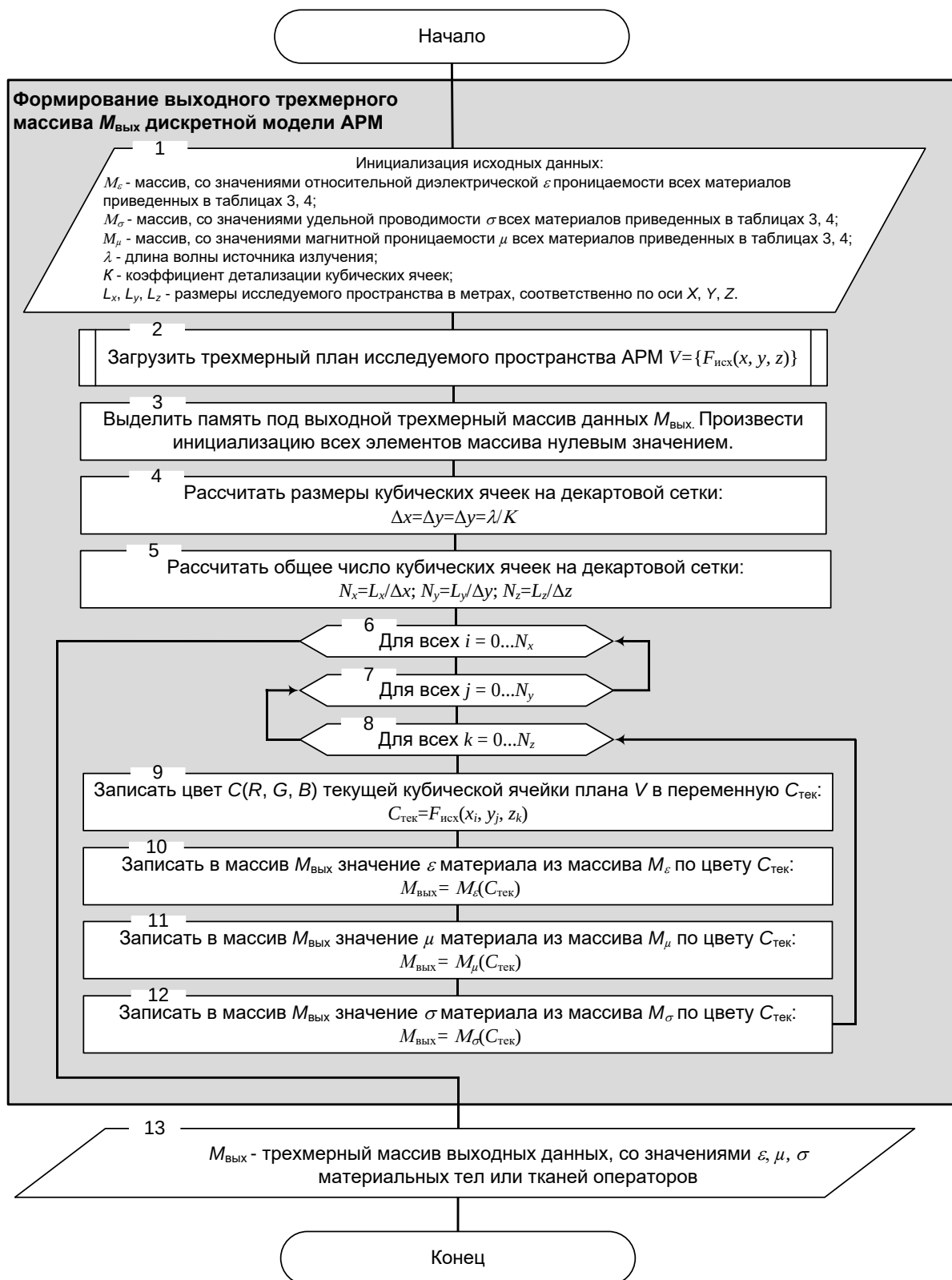


Рис. 2. Схема алгоритма формирования трехмерного массива $M_{\text{вых}}$ выходных данных дискретной модели АРМ

В зависимости от коэффициента детализации K , и длины волны λ излучения источника ЭМП, в блоке 4 на рис. 2 рассчитываются размеры кубических ячеек Δx , Δy , Δz в метрах по соответствующей координате декартовой сетки x , y , z . Т. к. априорно размеры исследуемого пространства V АРМ, в метрах, из-

вестны, L_x по оси x , L_y по оси y и L_z по оси z , следовательно, в блоке 5 на рис. 2 рассчитывается общее число кубических ячеек N_x по оси x , N_y по оси y и N_z по оси z . При помощи циклов 6, 7, 8 на рис. 2 осуществляется обход всех кубических ячеек $v(x_i, y_i, z_k)$ исследуемого пространства плана V , при этом в блоке 9 на рис. 2 происходит запись цвета $C(R, G, B)$ текущей ячейки в переменную $C_{\text{тек}}$, для того чтобы по данному цвету в блоках 10, 11, 12 идентифицировать материальные тела и ткани человека представленные в таблицах 3, 4. По записанному цвету $C(R, G, B)$ в переменную $C_{\text{тек}}$ в блоках 10, 11, 12 рис. 2 происходит запись в трехмерный массив выходных данных $M_{\text{вых}}$ значений относительной диэлектрической проницаемости ε , удельной проводимости σ и магнитной проницаемости μ материального тела или ткани человека, определенного по цвету $C_{\text{тек}}$. По завершению работы алгоритма блоке 30 рис. 2 формируется трехмерный массив выходных данных $M_{\text{вых}}$. Такой подход позволяет перейти от реального представления АРМ к его дискретной модели рис. 3.

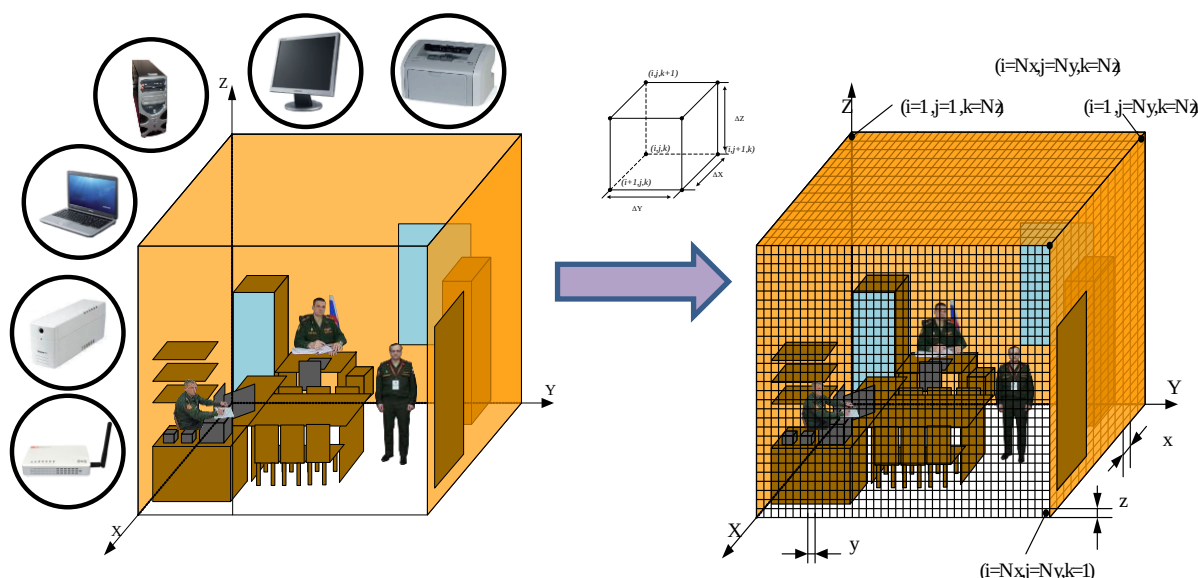


Рис. 3. Визуализация перехода от реального представления исследуемого пространства АРМ к его дискретной модели

Модель АРМ представлена в дискретном пространстве, состоящем из множества элементарных кубических ячеек, каждая ячейка в свою очередь может быть разбита на подъячейки рис. 4.

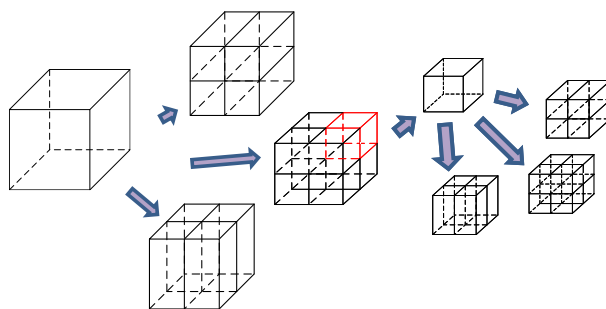


Рис. 4. Преобразование одной элементарной кубической ячейки дискретного пространства на подъячейки

Любые материальные тела среды АРМ или отдельные его части должны быть представлены такими значениями Δx , Δy , Δz чтобы их ширина l , длина d и высота h удовлетворяли условиям $l \geq 2\Delta x$, $d \geq 2\Delta y$, $h \geq 2\Delta z$. Как и любое материальное тело, оператор находится в исследуемом пространстве АРМ, поэтому он также должен являться частью дискретной модели, следовательно, его дискретное представление строится по аналогичному принципу, пример такого построения представлен на рис. 5.

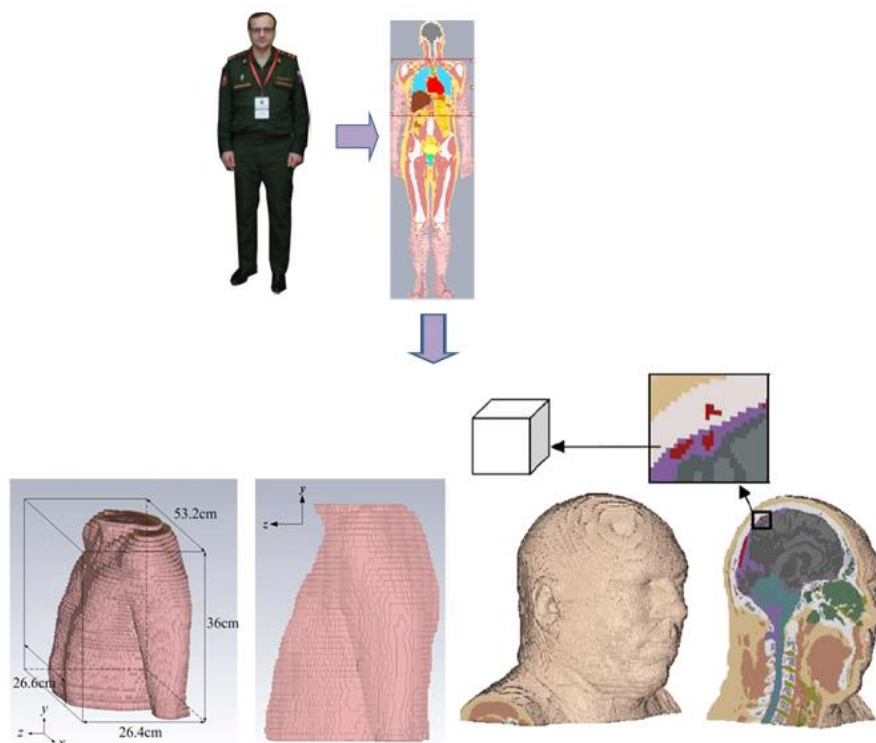


Рис. 5. Визуализация построения дискретной модели оператора

Как видно, на представленных рисунках 3, 4, 5, каждой ячейки расчетной области АРМ устанавливаются значения относительной диэлектрической проницаемости ε , удельной проводимости σ и магнитной проницаемости μ материального тела или ткани оператора в исследуемом пространстве АРМ, которые изображены разными цветами в зависимости от типа материала или ткани должностного лица. Полученные таким образом значения записываются в трехмерный массив выходных данных $M_{\text{вых}}$ для дальнейших расчетов ЭМП методом конечных разностей во временной области [28, 29].

Адекватность разработанной таким образом дискретной модели АРМ проводилась путем расчета относительной погрешности $\varepsilon_{\text{отн}}$ представления исследуемого пространства заданной геометрической фигуры элементарными кубическими ячейками [35]. В каждом эксперименте задавались простые геометрические фигуры, и проводился расчет относительной погрешности $\varepsilon_{\text{отн}}$, в процентах, по алгоритму, представленному на схеме рис. 6. Рассмотрим основные его блоки.

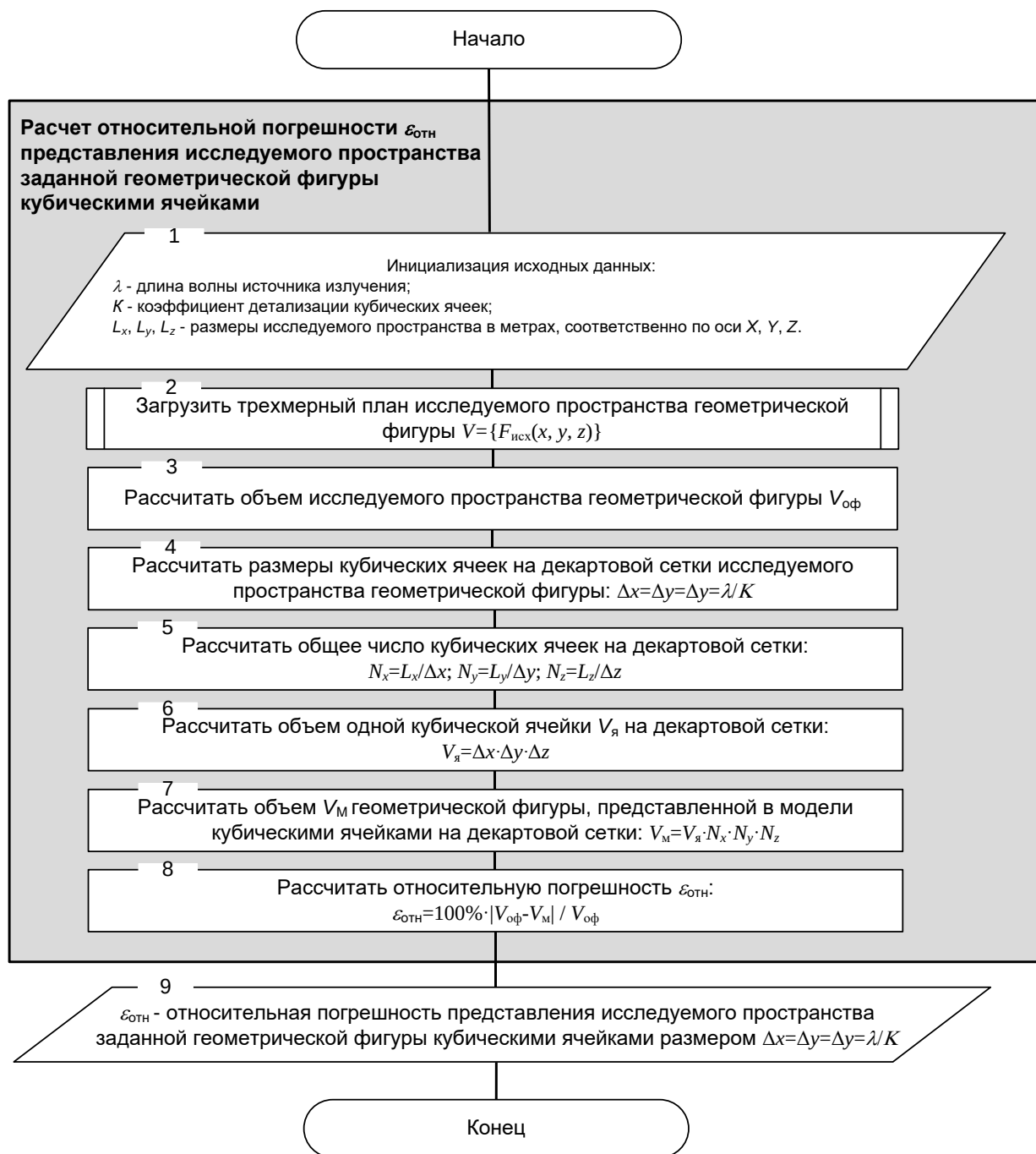


Рис. 6. Схема алгоритма проверки адекватности дискретной модели АРМ

В начале, инициализируются исходные данные, необходимые для расчета относительной погрешности $\varepsilon_{отн}$, в процентах, представления исследуемого пространства заданной геометрической фигуры кубическими ячейками (блок 1 на рис. 6). В блоке 2 на рис. 6 происходит загрузка трехмерного плана V исследуемого пространства геометрической фигуры для дальнейших расчетов. После загрузки трехмерного плана, в блоке 3 на рис. 6 происходит расчет объема исследуемого пространства загруженной геометрической фигуры $V_{оф}$, в кубических метрах, на основании заданных размеров трехмерного плана V , соответственно, L_x по оси x , L_y по оси y и L_z по оси z . В зависимости от коэффициента детализации K , и длины волны λ излучения источника ЭМП, в блоке 4 на рис. 6 рассчитываются размеры кубических ячеек Δx , Δy , Δz в метрах по соответству-

ющей координате декартовой сетки x, y, z . Т. к. априорно размеры исследуемого пространства V АРМ, в метрах, известны, L_x по оси x , L_y по оси y и L_z по оси z , следовательно, в блоке 5 на рис. 6 рассчитывается общее число кубических ячеек N_x по оси x , N_y по оси y и N_z по оси z . В блоке 6 на рис. 6 рассчитывается объем одной кубической ячейки $V_{\text{я}}$ в квадратных метрах. На основании рассчитанных значений общего числа кубических ячеек N_x, N_y, N_z в блоке 7 на рис. 6 производится расчет объема геометрической фигуры, представленной в модели кубическими ячейками на декартовой сетки. В блоке 8 на рис. 6 рассчитывается, а в блоке 9 на рис. 6 анализируется значение относительной погрешности $\varepsilon_{\text{отн}}$ представления исследуемого пространства заданной геометрической фигуры кубическими ячейками.

График, представленный на рис. 7 показывает, что относительная погрешность представления исследуемого пространства заданной геометрической фигуры кубическими ячейками зависит от величины коэффициента детализации. При шаге детализации $K = \lambda / 20$ погрешность составляет менее 5 %.

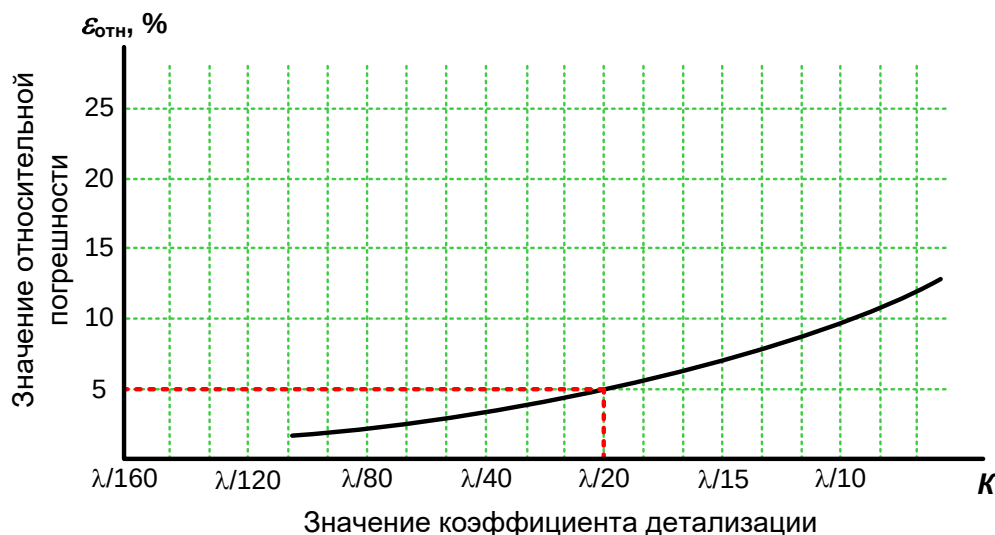


Рис. 7. Зависимость значений относительной погрешности $\varepsilon_{\text{отн}}$ представления исследуемого пространства заданной геометрической фигуры кубическими ячейками от величины коэффициента детализации K

Целью прогнозирования ЭМП технических средств является получение информации, по которой можно судить о качестве окружающей среды и возможности пребывания там человека. Каждый радиотехнический объект АРМ, излучающий в окружающую среду электромагнитную энергию, должен иметь санитарный паспорт, содержащий, в том числе и свой уникальный спектр уровней ЭМП, так как частотная область гораздо удобнее для определения гармонического состава сигнала [3]. Такие параметры обычно исследуются разработчиками на производстве технических устройств, и для конечного пользователя публикуется либо в паспорте, либо в описании, либо в справочной литературе, чтобы каждый потребитель мог с ним ознакомиться. На рис. 8-14 приведены амплитудные спектры основных технических устройств АРМ [8, 30, 36-40].

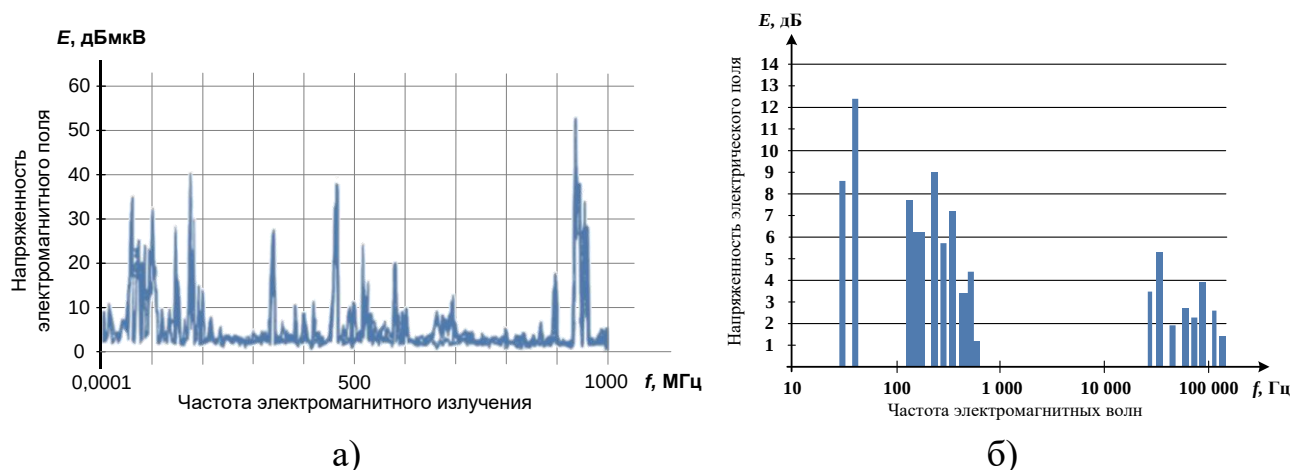


Рис. 8. Амплитудный спектр излучения системного блока персонального компьютера: а) в диапазоне частот 100 Гц-1 ГГц;
б) в диапазоне частот 10 ГГц-100000 ГГц

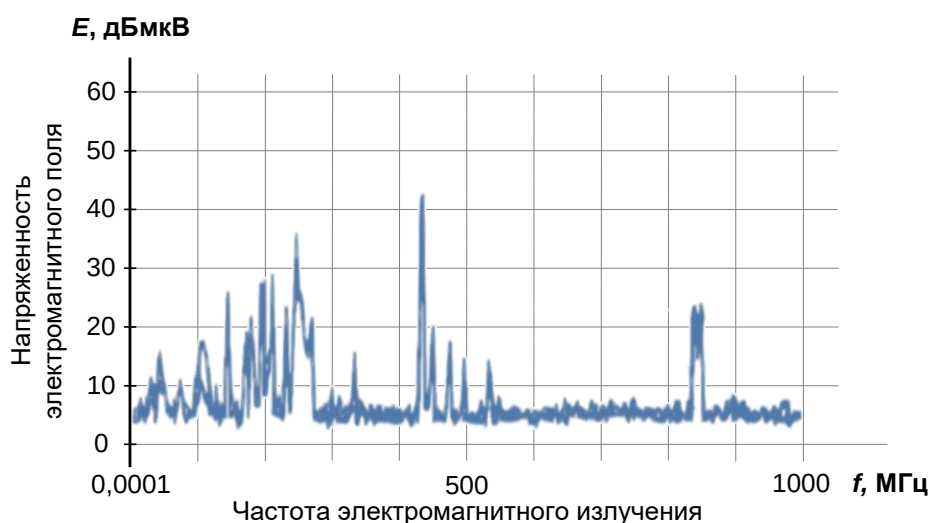


Рис. 9. Амплитудный спектр излучения монитора в диапазоне частот 100 Гц-1 ГГц

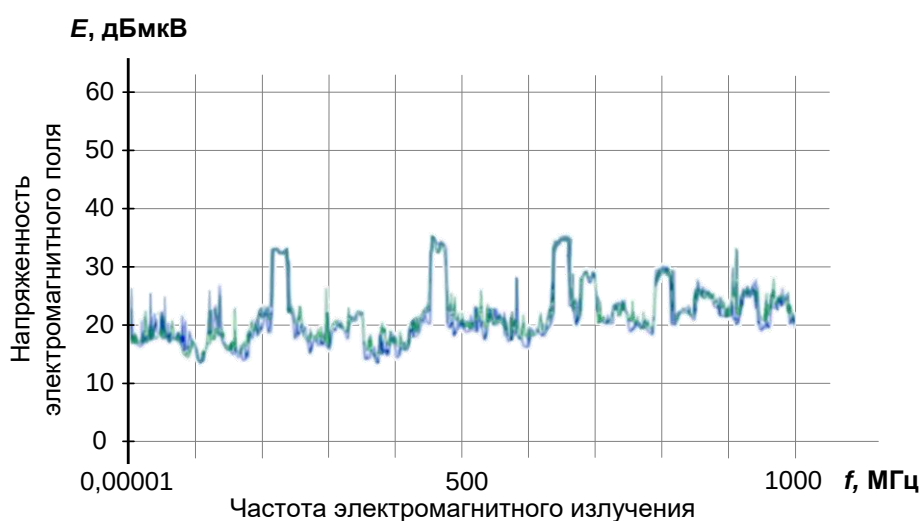


Рис. 10. Амплитудный спектр излучения принтера в диапазоне частот 10 Гц-1 ГГц

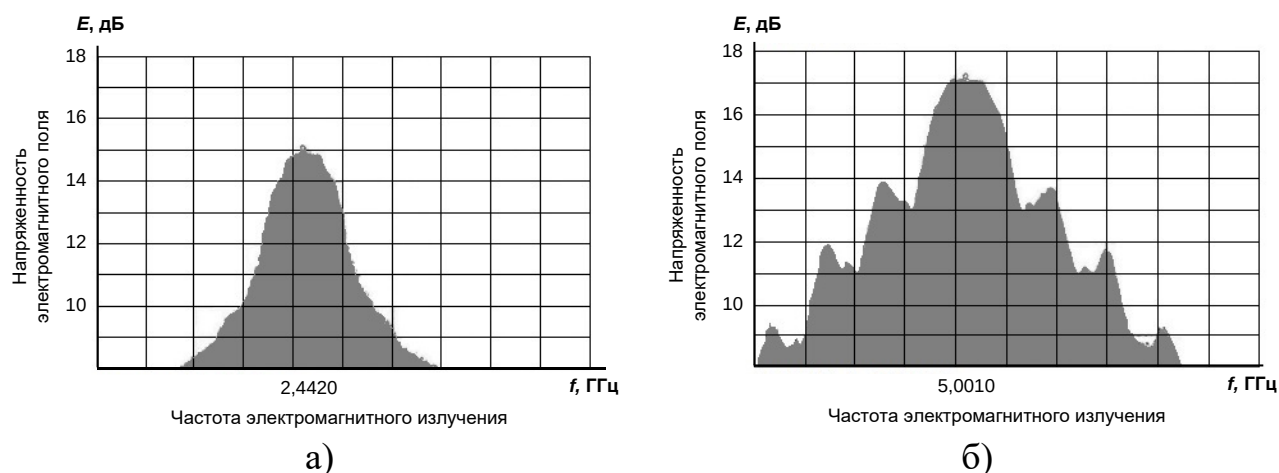


Рис. 11. Амплитудный спектр излучения устройств беспроводного доступа
а) на частоте 2,4 ГГц; б) на частоте 5 ГГц

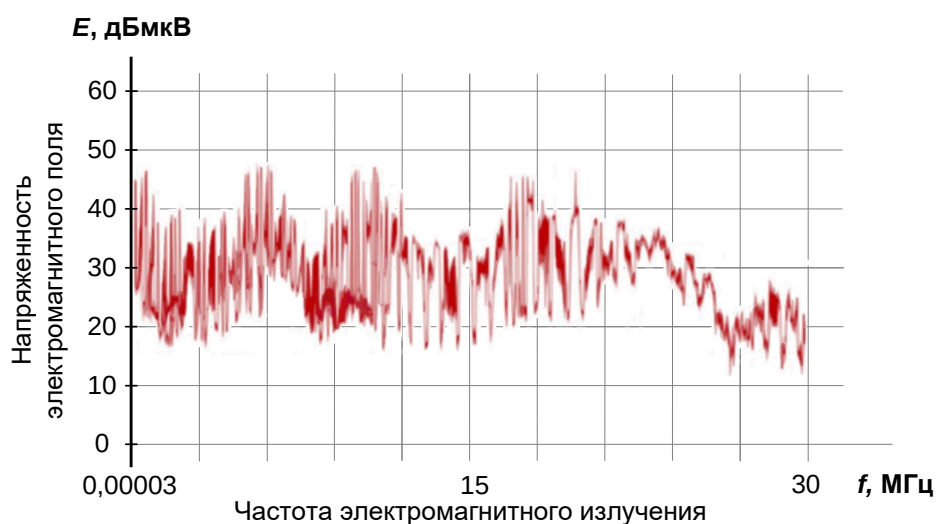


Рис. 12. Амплитудный спектр излучения источника бесперебойного питания в диапазоне частот 30 ГГц-30 МГц

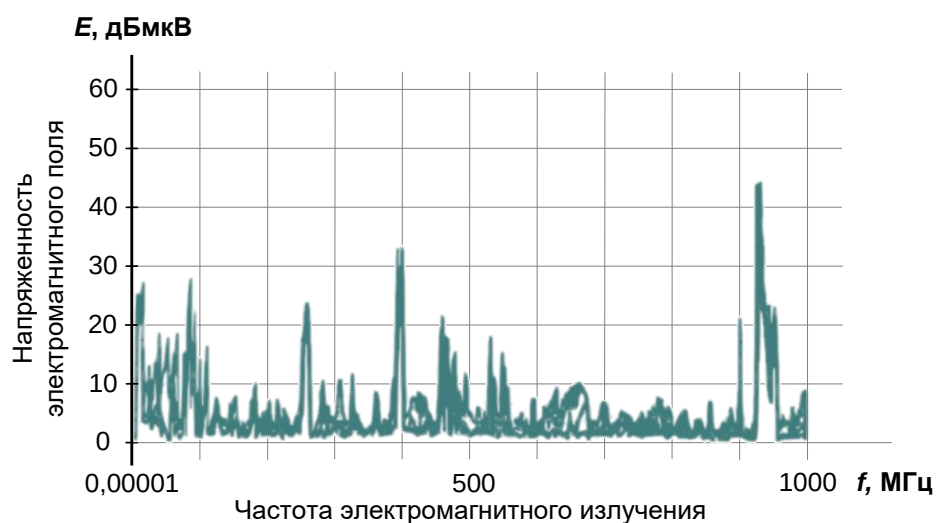


Рис. 13. Амплитудный спектр излучения ноутбука
в диапазоне частот 10 ГГц-1 ГГц

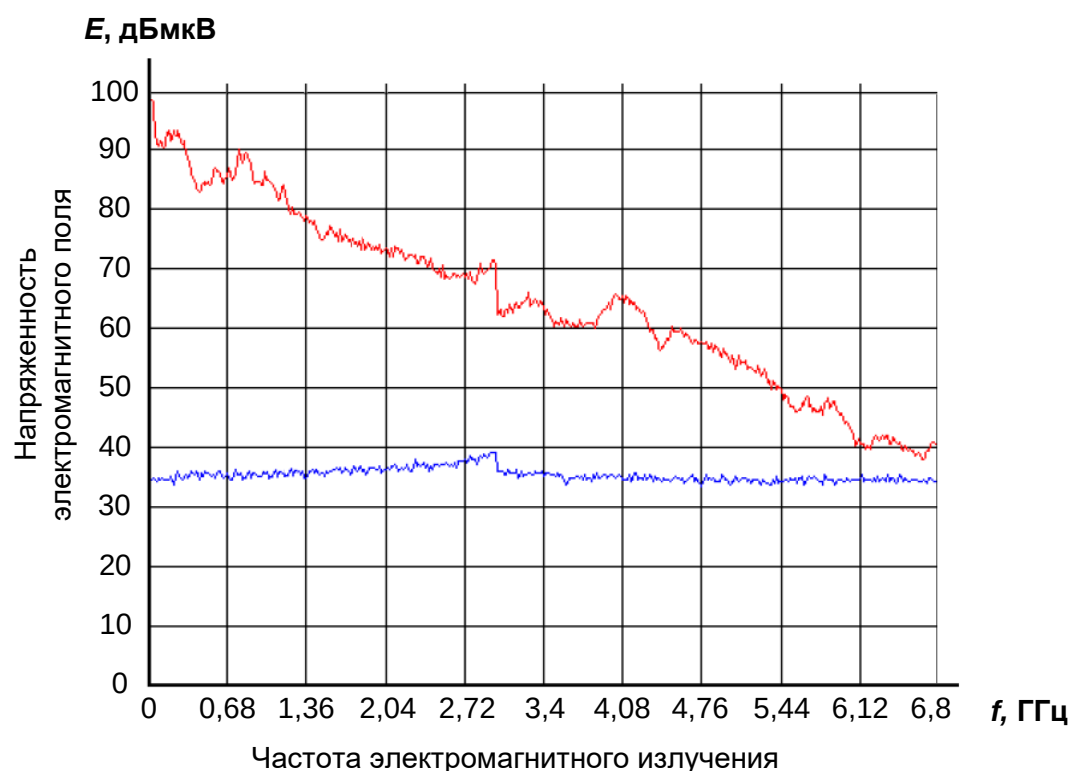


Рис. 14. Амплитудный спектр излучения устройства активной защиты информации от утечки по каналам ПЭМИН в диапазоне частот 0 Гц-6,8 ГГц: синий график – спектрограмма фоновой обстановки; красный график – спектрограмма выходного сигнала генератора шума при нагрузке 50 Ом

В задачах прогнозирования ЭМП от различных источников излучений, в первую очередь, применяется энергетический подход как для анализа, подобно амплитудным спектрам технических средств АРМ, представленным на рис. 8-14, так и для моделирования сигналов. Основными энергетическими характеристиками детерминированного сигнала $x(t)$, рассматриваемого в виде функции времени, являются мгновенная мощность $p(t)$, энергия $E_{\text{сиг}}$ и средняя мощность $P_{\text{сиг}}$ на интервале определения сигнала $[t_1; t_2]$. Именно эти характеристики позволяют оценить степень взаимосвязанности сигналов, значения отсчетов, проанализировать структуру сигналов, обусловленную внутренним распределением энергии или мощности [41]. Следовательно, моделировать сигналы технических средств АРМ целесообразно по их известным спектрам, число гармонических составляющих k устанавливать таким образом, чтобы значение относительной погрешности аппроксимации δ удовлетворяло заданной точности [42]. Данный способ предполагает нахождение числа гармонических составляющих K , приоритетно с наибольшей энергией и не обязательно ортогональных, в сумме образующих, внутри исследуемого временного интервала $[t_1; t_2]$ с заданной точностью 10%, априорно известный спектр сигнала. Таким образом, моделируемый сигнал $y_k(t)$ исследуемого технического средства АРМ можно задать выражением:

$$y_k(t) = A_0 + \sum_{k=1}^K (A_k \cos \omega_k t + B_k \sin \omega_k t), \quad (1)$$

где A_0 – постоянная составляющая.

Исследования [3, 41, 42] показали, что относительное значение погрешности аппроксимации δ спектра сигнала $s(t)$ исследуемого технического средства АРМ сформированным сигналом $y_k(t)$, достаточно определять как:

$$\delta = \left| \frac{P_{\text{сиг}} - P_k}{P_{\text{сиг}}} \right| \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $P_{\text{сиг}}$ – средняя мощность сигнала $s(t)$, P_k – мощность сформированного сигнала $y_k(t)$.

Средняя мощность на том же временном интервале исследуемого сигнала рассчитывается как величина

$$P_{\text{сиг}} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} x^2(t) dt, \quad (3)$$

где $T = t_2 - t_1$.

Мощность сформированного сигнала $y_k(t)$ можно определить по спектру сформированного сигнала как сумму мощностей отдельных гармонических составляющих

$$P_k = \sum_{k=1}^K (C_k)^2, \quad (4)$$

где C_k – мощность k -ой гармонической составляющей, K – число гармонических составляющих, в сумме которые позволяют моделировать исходных сигнал с заданной точностью 10%.

Энергией действительного сигнала на временном интервале $[t_1; t_2]$ называют величину

$$E_{\text{сиг}} = \int_{t_1}^{t_2} x^2(t) dt, \quad (5)$$

На рис. 15 представлена схема алгоритма определения числа гармонических составляющих, в сумме образующих, с заданной точностью 10%, априорно известный спектр сигнала исследуемого технического средства АРМ.

В начале, инициализируется переменная, которая должна содержать полный путь в файловой системе ПЭВМ к файлу с параметрами амплитудного спектра излучения исследуемого технического средства АРМ (блок 1 на рис. 15). Также в этом блоке устанавливается в ноль значение счетчика числа гармонических составляющих k . В блоке 2 на рис. 15 загружается амплитудный спектр излучения S_p исследуемого технического средства АРМ из указанного файла файловой системы ПЭВМ.

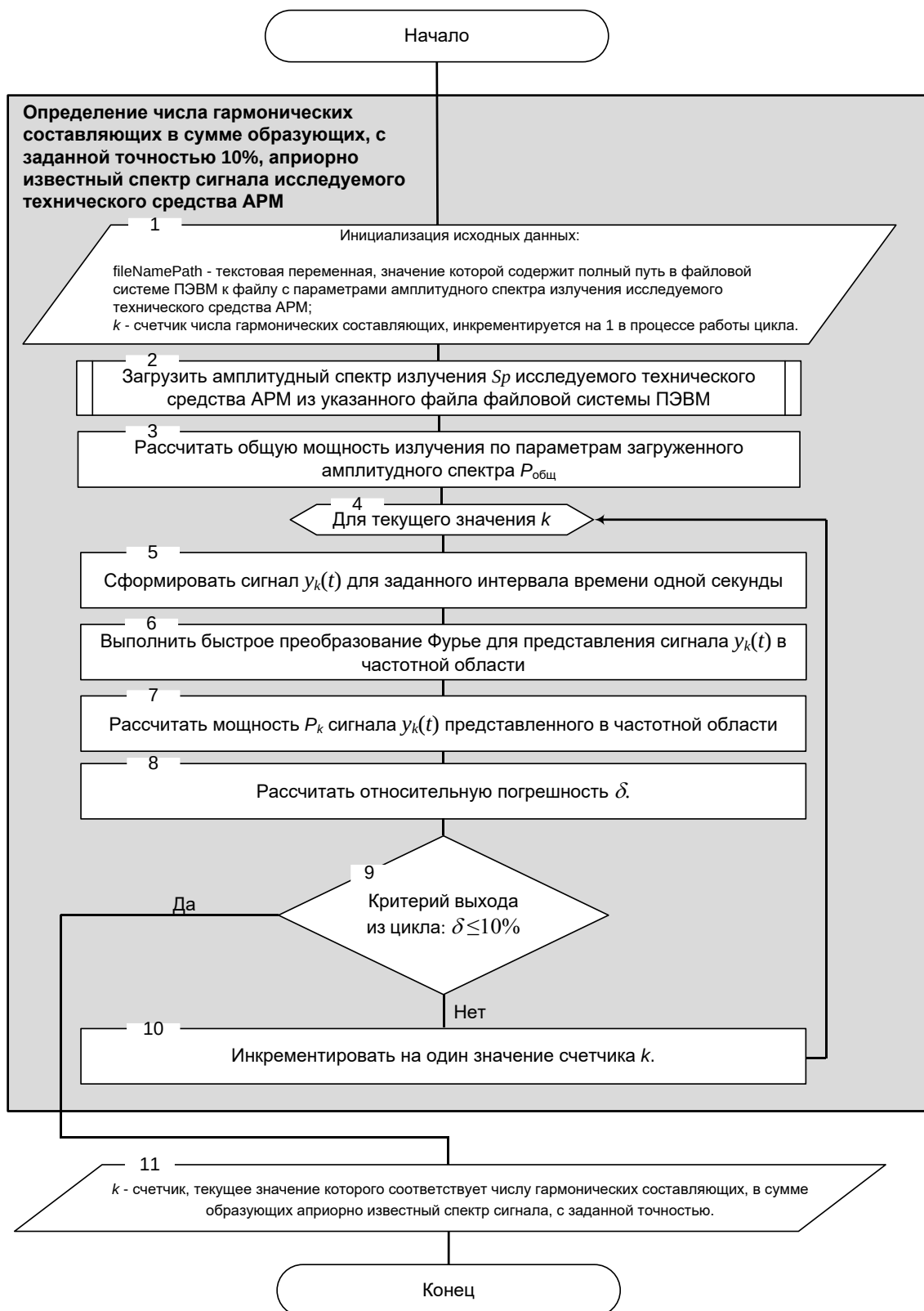


Рис. 15. Схема алгоритма определения числа гармонических составляющих, в сумме образующих априорно известный спектр сигнала, с заданной точностью

В блоке 3 на рис. 15 рассчитывается общая мощность излучения

$$P_{\text{общ}} = \sum_{k=1}^K (C_k)^2, \quad (6)$$

где C_k – мощность k -ой спектральной составляющей.

При помощи цикла 4 на рис. 15 осуществляется расчет относительной погрешности аппроксимации δ спектра сигнала, исследуемого технического средства АРМ, сформированным сигналом $y_k(t)$. При каждом проходе цикла относительная погрешность рассчитывается выражением 2 (блок 8 на рис. 15) для определенного числа гармонических составляющих, которое соответствует текущему значению счетчика k . В блоке 10 на рис. 15 для следующего прохода цикла значение счетчика k инкрементируется на единицу. В блоке 5 на рис. 15 происходит формирование сигнала $y_k(t)$ на основе выражения 1 с текущим числом гармонических составляющих k . В блоке 6 на рис. 15 сигнал $y_k(t)$ раскладывается в ряд Фурье, для анализа гармонических составляющих и в блоке 6 на рис. 15 при помощи выражения 4 рассчитывается мощность P_k . Цикл выполняется до тех пор, пока не найдется такое значение относительной погрешности δ , которое бы соответствовало критерию выхода из цикла $\delta \leq 10\%$. По завершению цикла, счетчик k будет содержать значение, которое соответствует числу гармонических составляющих, в сумме образующих априорно известный спектр сигнала, с заданной точностью.

На рис. 16-22 представлены графики расчета относительной погрешности δ представления определенным числом гармонических составляющих сигнала $y_k(t)$ априорно известных спектров сигнала технических средств АРМ.

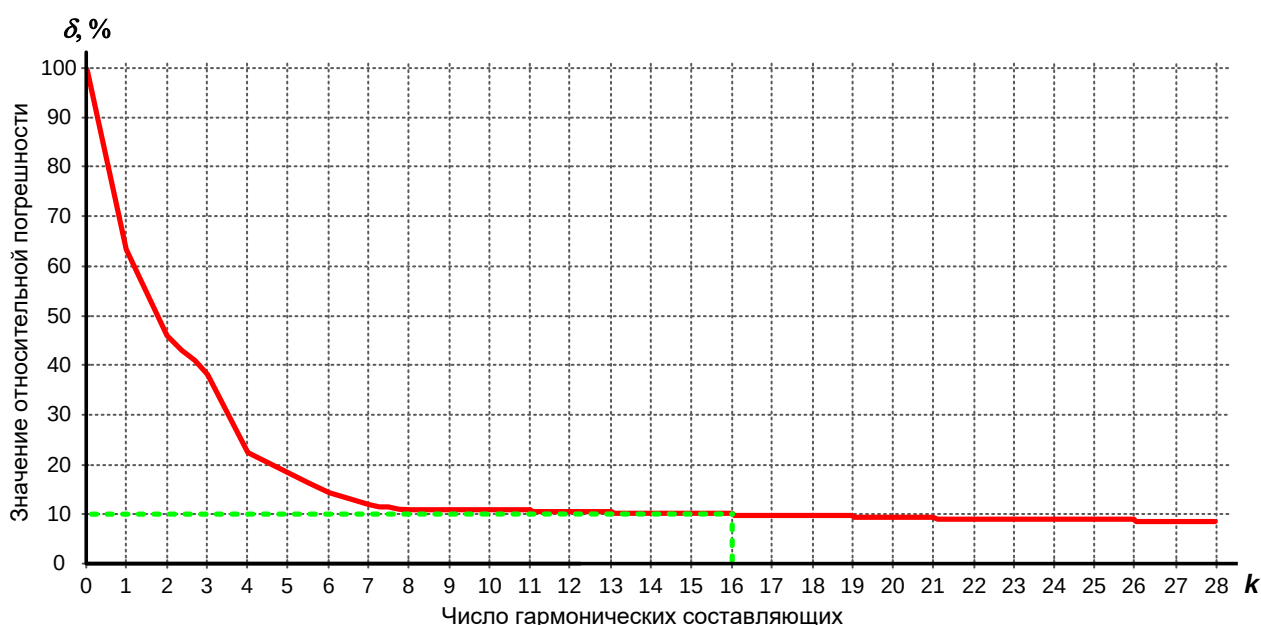


Рис. 16. Относительная погрешность представления определенным числом гармонических составляющих априорно известного спектра сигнала системного блока ПЭВМ

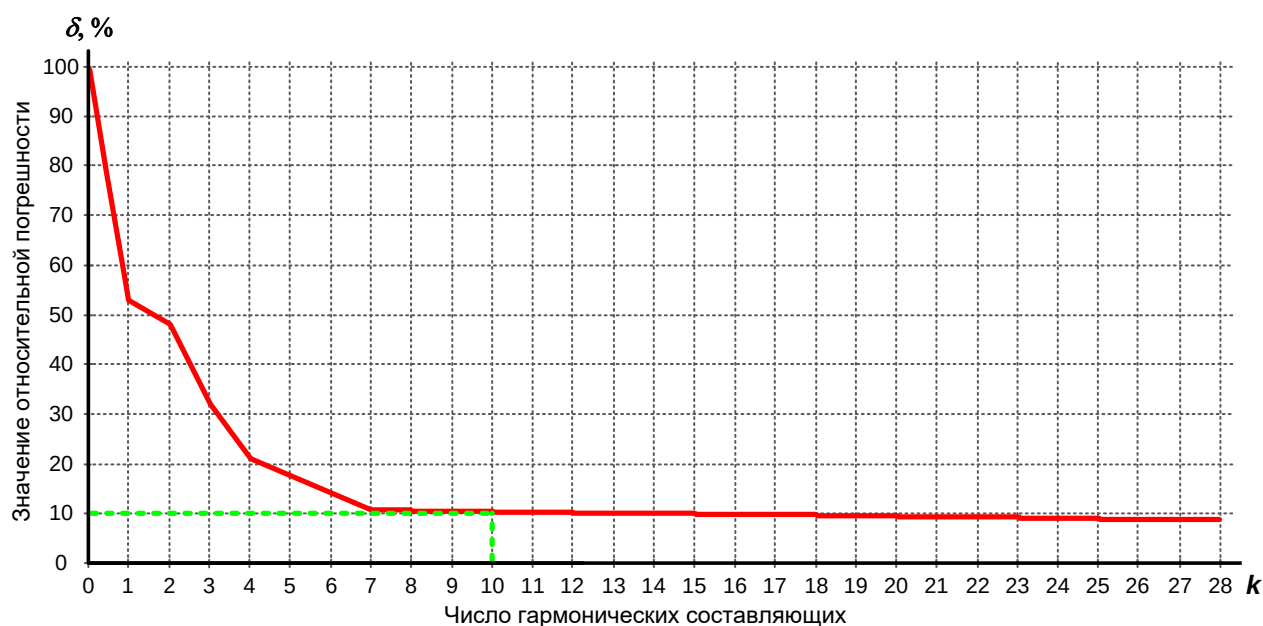


Рис. 17. Относительная погрешность представления определенным числом гармонических составляющих априорно известного спектра сигнала монитора

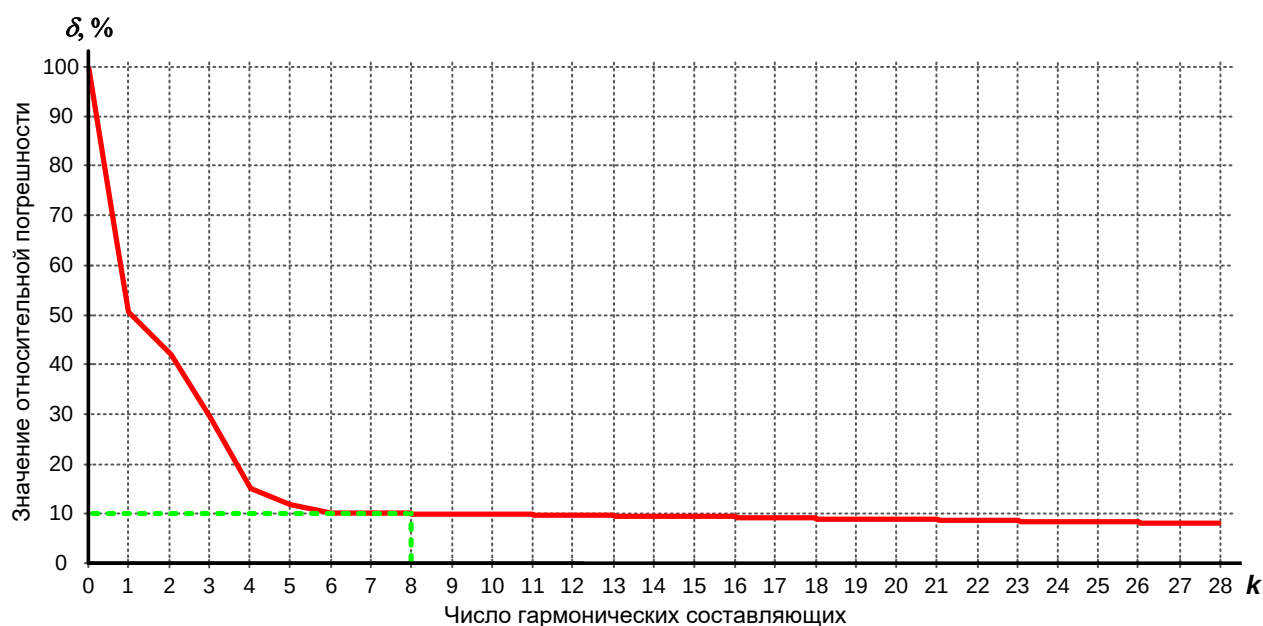


Рис. 18. Относительная погрешность представления определенным числом гармонических составляющих априорно известного спектра сигнала принтера

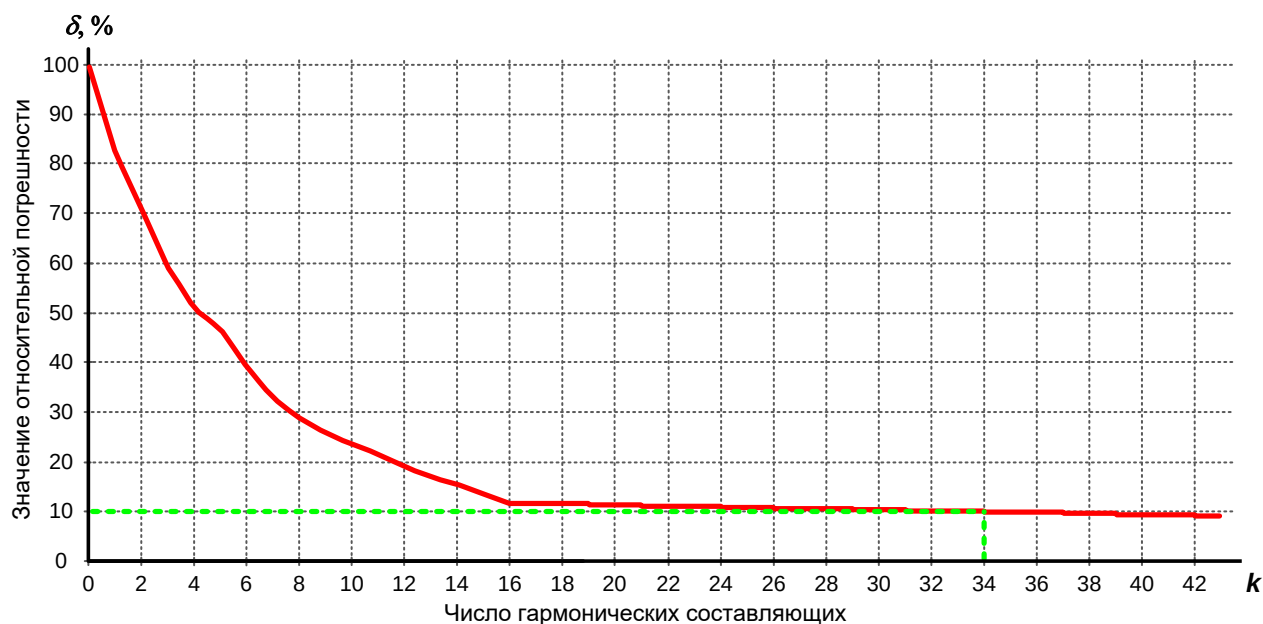


Рис. 19. Относительная погрешность представления определенным числом гармонических составляющих априорно известного спектра сигнала устройства беспроводного доступа

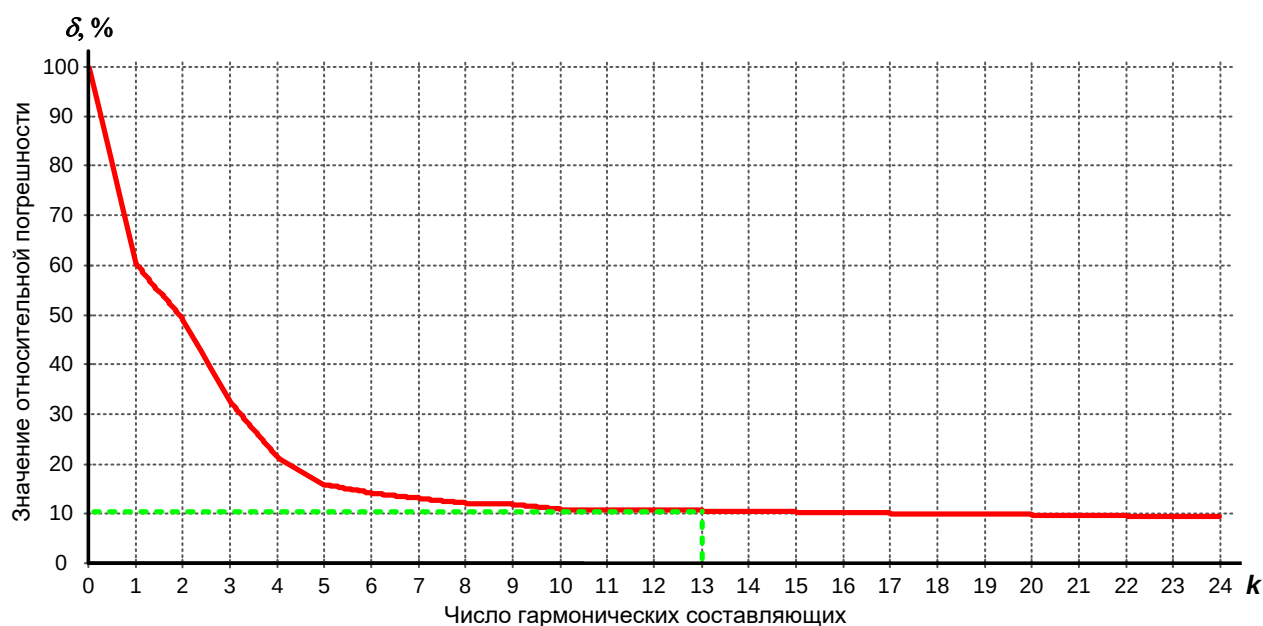


Рис. 20. Относительная погрешность представления определенным числом гармонических составляющих априорно известного спектра сигнала источника бесперебойного питания

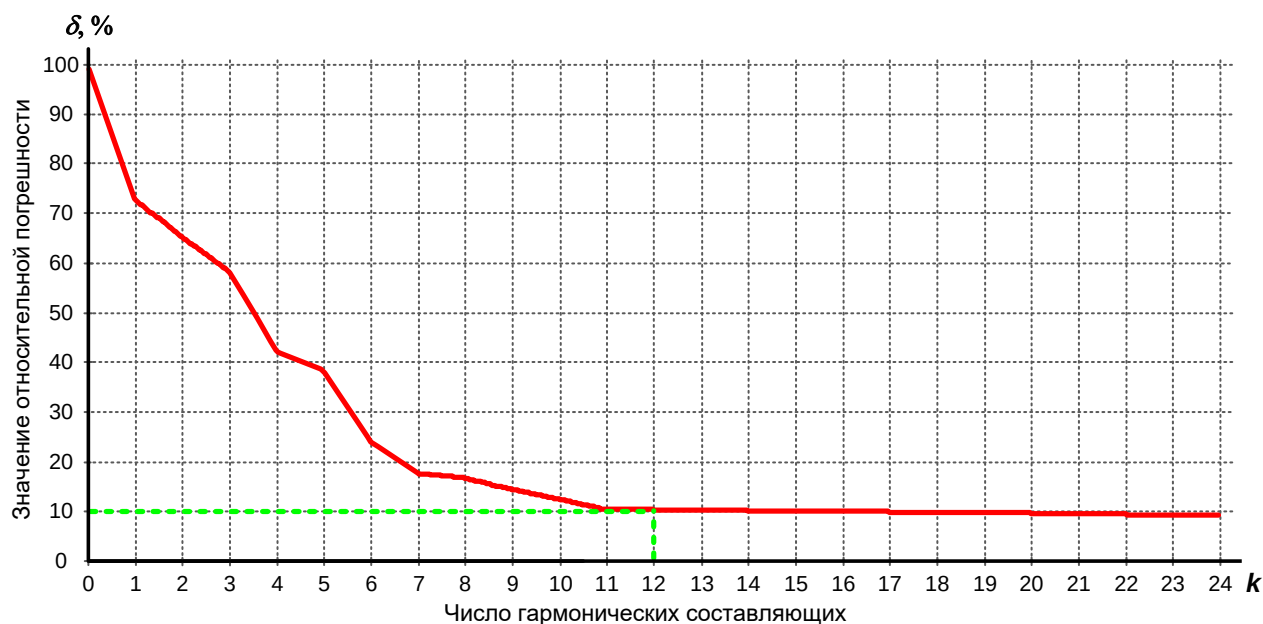


Рис. 21. Относительная погрешность представления определенным числом гармонических составляющих априорно известного спектра сигнала ноутбука

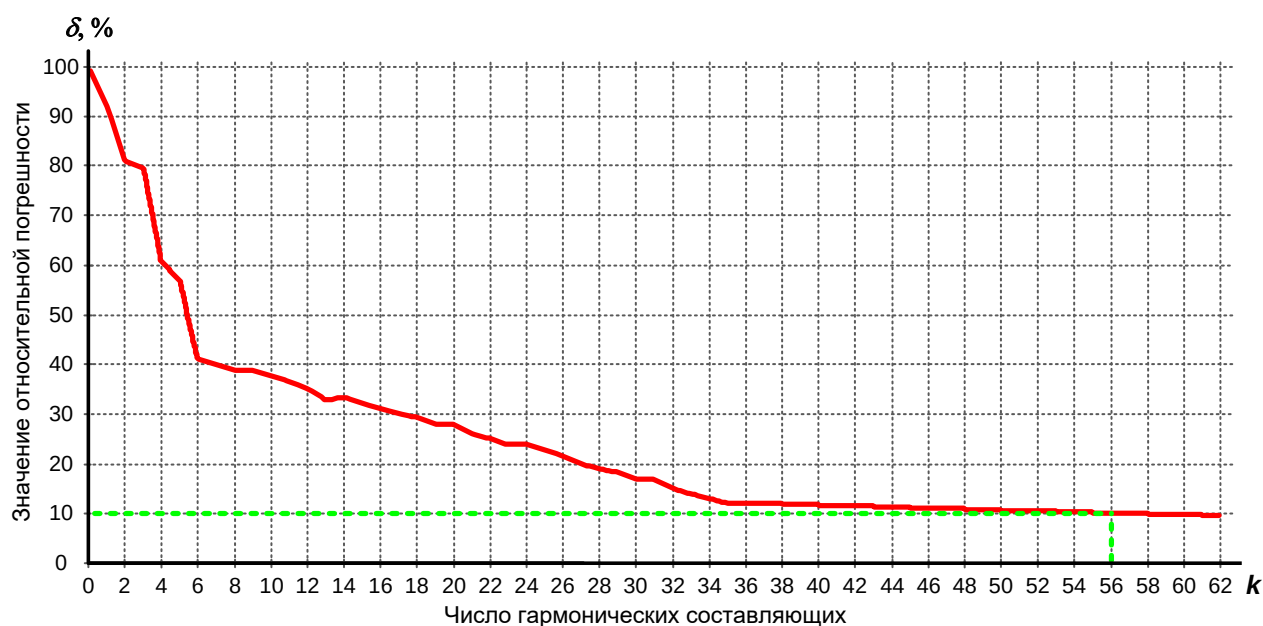


Рис. 22. Относительная погрешность представления определенным числом гармонических составляющих априорно известного спектра сигнала устройства активной защиты информации от утечки по ПЭМИН

Как видно из представленных иллюстраций рис. 18-22, с увеличением числа гармонических составляющих сигнала $y_k(t)$ относительная погрешность $\delta, \%$ уменьшается. Если устремить число гармонических составляющих к бесконечности, то погрешность будет стремиться к нулю. При решении задач электромагнитного прогнозирования обычно предполагают синфазность всех составляющих, в этом случае уровень суммарного поля будет максимальным [3].

Заключение

Таким образом, разработана дискретная модель автоматизированного рабочего места объекта информатизации, которая удовлетворяет как внешним, так и внутренним требованиям, предъявляемым к моделям, и идеально подходит для расчета электромагнитного поля методом конечных разностей во временной области.

Автором показана актуальность задачи моделирования ЭМП на АРМ, которая еще больше возрастает, когда АРМ оснащено устройством активной защиты информации от утечки по каналам ПЭМИН, генератором шума, виброакустическим генератором и др, т.к. широко рассматриваются вопросы о том, что подобные сигналы влияют на функциональное состояние центральной нервной системы и эмоциональное состояние оператора, находящегося в условиях воздействия электромагнитного излучения подобных устройств [43].

При решении задач электромагнитного прогнозирования, средствами представленной дискретной модели АРМ, предлагается проводить моделирование источников излучения ЭМП совокупностью элементарных электрических вибраторов (ЭЭВ). Гармонические составляющие, запитывающие ЭЭВ, определяются для каждого технического средства при помощи алгоритма, представленного на схеме рис. 15. Соответственно, уровень и структура электромагнитного поля в произвольной кубической ячейке дискретной модели пространства АРМ будет определяться суперпозицией полей всех ЭЭВ.

К исследованиям, в которых предлагается моделировать источники радиоизлучений, размещенных в различных помещениях, можно отнести работы [2, 7, 8, 11, 20]. Однако во всех перечисленных работах используются другие подходы. Кроме того, в данных работах не упоминается подходы моделирования источников излучения ЭМП, основанные на определении гармонических составляющих при помощи того или иного алгоритма, а также не упоминается представления пространства помещения в виде дискретной модели, выходные данные которой хорошо сопрягаются с методом конечных разностей во временной области для прогнозирования ЭМП. Для АРМ это делается впервые.

Ценность полученных результатов в основном определяется возможностью их использования в качестве исходных данных для статистического имитационного моделирования безопасности оператора автоматизированного рабочего места. Наиболее близкой работой по подходу моделирования источников излучения электромагнитных полей, представленному в данной статье, является работы О. Н. Маслова [2], М. Ю. Маслова [7]. Однако проведенные исследования в данных работах построены на основе иных подходов и не учитывают рассмотрения амплитудных спектров конкретных технических средств.

Характерной чертой предложенного алгоритма на схеме рис. 15, является возможность проводить дальнейшие исследования ЭМП в произвольных точках от воздействия источников нескольких АРМ – от 4-х и более. Это позволяет:

- выявить места объекта информатизации, оказывающие неблагоприятные воздействия на оператора;
- оценить влияние источников излучений, находящихся на АРМ.

Применение дискретной модели для расчетов ЭМП методом конечных разностей во временной области позволяет повысить обоснованность принятия решений по выбору и размещению ПЭВМ и других источников для уменьшения влияния излучений на организм оператора. Следовательно, достоинствами разработанной дискретной модели являются:

- возможность без проведения экспериментальных измерений уровней излучений на АРМ и за его пределами многократно определять изменения в электромагнитном поле при перепланировке помещения, перестановке (замене) мебели, модернизации АРМ и т.д.
- визуализация зоны излучений ПЭВМ и других источников излучений АРМ;
- возможность подбора рационального места размещения ПЭВМ и других источников излучений АРМ, при котором воздействие на организм оператора будет минимальными.

В дальнейшем планируется разработать методику прогнозирования ЭМП источников излучений АРМ и научно-технические предложения по защите оператора при работе на АРМ.

Выражаю благодарность за постановку научных задач и контроль их выполнения моему научному руководителю кандидату технических наук, доценту, старшему научному сотруднику научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного Валентину Андреевичу Мешалкину.

Выражаю благодарность за консультации доктору технических наук, профессору, почетному работнику высшего профессионального образования Российской Федерации, действительному члену (академику) Международной академии наук по экологии и безопасности жизнедеятельности Валентину Михайловичу Салтыкову.

Литература

1. Шпак А. А., Новиков В. В. Исследование влияния электромагнитных полей и электромагнитных излучений на биообъекты // Вестник Херсонского национального технического университета. 2015. №4. С. 63-72. doi: 10.6084/m9.flgshare.5545324.
2. Маслов О. Н. Моделирование волновых полей средств электронно-вычислительной техники // Радиотехники и электроника. 1994. Т. 39. №1. С. 6-13.
3. Сподобаев Ю. М., Кубанов В. П. Основы электромагнитной экологии. – М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.
4. Сподобаев Ю. М., Шерedyко Е. Ю. Плотность потока мощности поля технических средств телевизионного и УКВ ЧМ вещания // Труды НИИР. 1983. № 4. С. 32-35.
5. Маслов О. Н. Электромагнитная безопасность радиоэлектронных средств. – М.: МЦНТИ, 2000. – 82 с.

6. Бузов А. Л., Маслов М. Ю. Комплексный анализ электромагнитной обстановки в помещениях // Материалы IX Всероссийской научной конференции. Самара, 2002. С. 112-113.
7. Маслов М. Ю. Электродинамическое моделирование излучения бытовой и офисной техники // Электродинамика и техника СВЧ и КВЧ. 2001. Т. 9. №3 (31). С. 119-126.
8. Викторов В. А., Мешалкин В. А., Салтыков В. М. Исследование электромагнитных полей в окружающей среде от оборудования компьютерного комплекса с позиции допустимых требований по электромагнитной безопасности // Системы управления, связи и безопасности. 2019. №4. С. 246-261. doi: 10.24411/2410-9916-2019-10409.
9. Хорев А. А. Оценка возможности обнаружения побочных электромагнитных излучений видеосистемы компьютера // Доклады ТУСУР. 2014. №2 (32). С. 207-213.
10. Викторов В. А., Мешалкин В. А., Салтыков В. М. Исследование уровней и спектров высших гармоник тока в электрических сетях питания компьютерной техники и основные мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости // Системы управления, связи и безопасности. 2019. №4. С. 381-401. doi: 10.24411/2410-9916-2019-10415.
11. Филиппович А. Г. Моделирование побочных электромагнитных излучений ПЭВМ методом интегральных уравнений // Доклады БГУИР. 2012. №5 (67). С. 28-34.
12. Burke G. J., Poggio A. J. Computer Analysis of the Twin-Whip Antenna, UCRL-52080. – Lawrence Livermore Laboratory, 1976. – 22 p
13. Burke G. J., Poggio A. J. Computer Analysis of the Bottom-Fed Fan Antenna, UCRL-52109. – Lawrence Livermore Laboratory, 1976. – 35 p.
14. Polk C., Postow E. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. – CRC Press, 2017. – 511 p.
15. Harrington R. F. Field Computation by Moment Method. – New York: Macmillan, 1968. – 150 p.
16. MB Associates Report No. MB-R-74/62. Antenna Modeling Program - Engineering Manual. – New York: Macmillan, 1994. – 85 p.
17. MB Associates Report No. MB-R-75/4. Antenna Modeling Program - Supplementary Computer Program Manual (AMP2). – New York: Macmillan, 1975. – 72 p.
18. Burke G. J., Poggio A. J. Numerical Electromagnetic Code (NEC-1) Part I: NEC Program Description Code. – Lawrence Livermore Laboratory, 1977. – 85 p.
19. Burke G. J., Poggio A. J. Numerical Electromagnetic Code (NEC-1) Part II: NEC Program Description Code. – Lawrence Livermore Laboratory, 1977. – 250 p.
20. Carpenter D. O., Ayrapetyan S. Biological Effects of Electric and Magnetic Fields. – Academic Press, 2012. – 369 p.
21. Bennet W. R. Health and Low-Frequency Electromagnetic Fields. – Yale University Press, 1994. – 185 p.

22. Маслов М. Ю., Ситникова С. В., Сподобаев Ю. М. Численный анализ электромагнитного поля монитора с электронно-лучевой трубкой // Вестник СОНИИР. 2005. №1. С. 44-47.
23. Утин Л.Л., Кред Х. М., Сабаериан М. А. Обоснование применения средств защиты информации от утечки по радиоканалам // Доклады БГУИР. 2012. №3 (65). С. 73-78.
24. Rylander T., Bonderson A., Ingelstrom P. Computation Electromagnetics. – Springer, 2013. – 288 p. DOI 10.1007/978-1-4614-5351-2.
25. Сильвестер П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков. – М: Мир, 1986. – 336 с.
26. Monk P. Finite Element Methods for Maxwell's Equations. – Oxford: Clarendon Press, 2003. – 450 p.
27. Taflove A., Hagness S. C. Computation Electrodynamics: the finite-difference time-domain method. – Boston: Artech House, 2005. – 1006 p.
28. Jin J. The Finite Element Method in Electromagnetics. – John Wiley & Sons, 2014. – 876 p.
29. Толок А. В., Силантьев Д. А. Компьютерно-графический способ решения оптимизационных задач на основе R-функционального моделирования // Материалы XIII международной конференции: «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM». (Москва, 15-17 октября 2013). – Москва, 2013. – С. 120-125.
30. Wheat J., Hiser R., Tucker J., Neely A., McCullough A. Designing a Wireless Network. – Syngress, 2001. – 608 p.
31. Иванов В. П. Сверхширокополосные генераторы шума и их практическое применение // Успехи современной радиоэлектроники. 2008. №1. С. 37-45.
32. Рекомендация МСЭ-R P.1238-6. Данные о распространении и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в частотном диапазоне 900МГц - 100ГГц. – Женева: Изд-во международного союза электросвязи, 2010 – 27 с.
33. Диэлектрическая проницаемость различных веществ, в том числе основных диэлектриков // Технические таблицы [Электронный ресурс]. 2018. – URL: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/ElectricityAndMagnetism/DEPLiquids/DielectricConstanVarious/> (дата обращения 27.12.2019).
34. Foundation for Research on Information Technologies in Society. References Tissue Properties database v4.0. 2016. URL: <http://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database> (дата обращения 24.12.2019).
35. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования. – М: МГТУ имени Нэ Э. Баумана, 2002. – 336 с.
36. Лыньков Л. М., Борботько Т. В., Казека А. А. Защита от побочного электромагнитного излучения персонального компьютера // Доклады БГУИР. 2008. №5 (35). С. 29-34.
37. Przesmycki R. Measurement and analysis of compromising emanation for laser printer // Proceeding of the 35th Progress in Electromagnetics Research

Symposium. (Guangzhou, 25-28 Aug. 2014). – Guangzhou, China, 2014. P. 2661-2665.

38. Yegneswari R., Ganesan R., Sivaramakrishnan R. Emission in UPS system – A systematic approach to achieve EMI compliance // Proceeding of the 9th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility. (Bangalore, 23-24 Feb. 2006). – Bangalore, India, 2006. P. 274-277.

39. Brodic D., Tasic V. Exposure of the Laptop Users to the Extremely Low-Frequency Electromagnetic Field // Proceeding of the International Scientific Conference UNITECH. (Gabrovo, 21-22 Nov. 2014). – Gabrovo, Bulgaria, 2014. P. 59-64.

40. Сидоренко А. В., Жалковский М. В. Широкополосный генератор электромагнитного шума // Материалы международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ-БГУИР (Минск, 18-19 Марта 2014). – Минск, 2014. – С. 350-351.

41. Сюзев В. В. Цифровая обработка сигналов. Методы и алгоритмы. – М: МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2014. – 188 с.

42. Дмитриев Е. В. Аппроксимация коротких процессов, сигналов, функций и расчет их гармонических дискретных спектров // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. №4. С. 48-55.

43. Сидоренко А. В. Оценка состояния оператора в условиях электромагнитных шумовых излучений // Доклады БГУИР. 2018. №7 (117). С. 118-122.

References

1. Shpak A. A., Novikov V. V. Issledovanie vlijanija jelektromagnitnyh polej i jelektromagnitnyh izluchenij na bioob'ekty [The study of the influence of electromagnetic fields and electromagnetic radiation on biological objects]. *Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta*, 2015, no. 4, pp. 63-72. doi: 10.6084/m9.flgshare.5545324 (in Russian).

2. Maslov O. N. Modelirovanie volnovykh polej sredstv jelektronno-vychislitel'noj tehniki [Modeling of wave fields of electronic computer technology]. *Radiotekhniki i jelektronika*, 1994, vol. 39, no. 1, pp. 6-33 (in Russian).

3. Spodobaev U. M., Kubanov V. P. *Osnovy jelektromagnitnoj jekologii* [Fundamentals of electromagnetic ecology]. Moscow, Radio i svjaz' Publ., 2000. 240 p. (in Russian).

4. Spodobaev U.M., Sheredko E. U. Plotnost' potoka moshhnosti polja tehničeskikh sredstv televizionnogo i UKV ChM veshhanija [The power flux density of the field of technical equipment for television and VHF FM broadcasting]. *Trudi NIIR*, 1983, no. 4, pp. 32-35 (in Russian).

5. Maslov O. N. *Electromagnetic safety of electronic equipment* [Electromagnetic safety of electronic equipment]. Moscow, International Centre for Scientific and Technical Information Publ., 2000. 82 p. (in Russian).

6. Buzov A. L., Maslov M. U. Kompleksnyj analiz jelektromagnitnoj obstanovki v pomeshhenijah [A comprehensive analysis of the electromagnetic environment in the premises]. *Materialy IX Vserossijskoj nauchnoj konferencii*.

[Proceedings of IX All-Russian Scientific Conference]. Samara, 2002, pp. 112-113 (in Russian).

7. Maslov M. U. Jelektrodinamicheskoe modelirovanie izlucheniya bytovoj i ofisnoj tehniki [Electrodynamic modeling of household radiation and office equipment]. *Elektrodinamika i tehnika SVCh i KVCh*, 2001, vol. 9, no. 3 (31), pp. 119-126 (in Russian).

8. Viktorov V. A., Meshalkin V. A., Saltykov V. M. The research of electromagnetic fields in the environment from the computer equipment from the standpoint of permissible requirements for electromagnetic safety. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 4, pp. 246-261. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10409 (in Russian).

9. Horev A. A. Assessment of the possibility of detecting spurious electromagnetic emissions from a computer video system. *Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 2014, no. 2, pp. 207-213 (in Russian).

10. Viktorov V. A., Meshalkin V. A., Saltykov V. M. The research of the levels and spectra of higher harmonics of current in electrical power networks of computer equipment and the basic activities of the electromagnetic compatibility provision. *System of Control, Communication and Security*, 2019, no. 4, pp. 381-401. doi: 10.24411/2410-9916-2019-10415. (in Russian).

11. Filippovich A. G. Modeling of side electromagnetic radiation of a personal computer by the method of integral equations. *Doklady BGUIR*, 2012, no. 5, pp. 28-34 (in Russian).

12. Burke G. J., Poggio A. J. Computer Analysis of the Twin-Whip Antenna, UCRL-52080. Lawrence Livermore Laboratory Publ., 1976. 22 p.

13. Burke G. J., Poggio A. J. Computer Analysis of the Bottom-Fed Fan Antenna, UCRL-52109. Lawrence Livermore Laboratory Publ., 1976. 35 p.

14. Polk C., Postow E. *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*. CRC Press Publ., 2017. 511 p.

15. Harrington R. F. *Field Computation by Moment Method*. New York, Macmillan Publ., 1968. 150 p.

16. MB Associates Report No. MB-R-74/62. Antenna Modeling Program - Engineering Manual. New York, Macmillan Publ., 1994. 85 p.

17. MB Associates Report No. MB-R-75/4. Antenna Modeling Program - Supplementary Computer Program Manual (AMP2). New York, Macmillan Publ., 1975. 72 p.

18. Burke G. J., Poggio A. J. *Numerical Electromagnetic Code (NEC-1) Part I: NEC Program Description Code*. Lawrence Livermore Laboratory Publ., 1977. 85 p.

19. Burke G. J., Poggio A. J. *Numerical Electromagnetic Code (NEC-1) Part II: NEC Program Description Code*. Lawrence Livermore Laboratory Publ., 1977. 250 p.

20. Carpenter D. O., Ayrapetyan S. *Biological Effects of Electric and Magnetic Fields*. Academic Press Publ., 2012. 369 p.

21. Bennet W. R. *Health and Low-Frequency Electromagnetic Fields*. Yale University Press Publ., 1994. 185 p.

22. Maslov U. M., Sitnikova S. V., Spodobaev U. M. Chislennyj analiz jelektromagnitnogo polja monitora s jelektronno-luchevoj trubkoj [Numerical analysis of the electromagnetic field of a monitor with a cathode ray tube]. *Vestnik SONIIR*, 2005. no. 1, pp. 44-47 (in Russian).
23. Utsin L. L., Kriad H. M., Saberian M. A. Substantiation of the application of protection tools against information leakage via electromagnetic radiation emanation. *Doklady BGUIR*, 2012, no. 3, pp. 73-78 (in Russian).
24. Rylander T., Bonderson A., Ingelstrom P. *Computation Electromagnetics: Second Edition*. Springer Publ., 2013. 288 p. DOI 10.1007/978-1-4614-5351-2.
25. Silvester P, Ferrari R. *Metod konechnyh jelementov dlja radioinzhenerov i inzhenerov-jelektrikov* [Finite Element Method for Radio and Electrical Engineers]. Moscow, Mir Publ., 1986. 336 p. (in Russian).
26. Monk P. *Finite Element Methods for Maxwell's Equations*. Oxford, Clarendon Press Publ., 2003. 450 p.
27. Taflove A., Hagness S. C. *Computation Electrodynamics: the finite-difference time-domain method*. Boston, Artech House Publ., 2005. 1006 p.
28. Jin J. *The Finite Element Method in Electromagnetics*. John Wiley & Sons Publ., 2014. 876 p.
29. Tolok A. V., Silantiev D. A. Komp'yuterno-graficheskij sposob reshenija optimizacionnyh zadach na osnove R-funkcional'nogo modelirovaniya [The method of computer-graphic for solving optimization problems based on R-functional modeling]. *Materialy XIII mezhdunarodnoj konferencii: «Sistemy proektirovaniya, tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva i upravleniya jetapami zhiznennogo cikla promyshlennogo produkta CAD/CAM/PDM»*. [Proceedings of 13 International conference: "Systems for design, technological preparation of production and life cycle management of an industrial product CAD / CAM / PDM"]. Moscow, 2013, pp. 120-125 (in Russian).
30. Wheat J., Hiser R., Tucker J., Neely A., McCullough A. *Designing a Wireless Network*. Syngress Publ., 2001. 608 p.
31. Ivanov V. P. Sverhshirokopolosnye generatory shuma i ih prakticheskoe primeneniye [Ultra-wideband noise generators and their practical application]. *Uspehi sovremennoj radioelektroniki*, 2008, no. 1, pp. 37-45 (in Russian).
32. Recommendation ITU-R P.1238-6. Propagation data and forecasting methods for planning indoor communication systems and local area radio networks in the frequency range 900 MHz - 100 GHz. Geneva, International Telecommunication Union Publ., 2010. 27 p. (in Russian).
33. Dijelektricheskaja pronicaemost' razlichnyh veshhestv, v tom chisle osnovnyh dijelektrikov [The dielectric constant of various substances, including basic dielectrics]. *Tehnicheskie tablicy*, 2018. Available at: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/ElectricityAndMagnethism/DEPLiquids/DielectricConstanVarious/> (accessed 27 December 2019).
34. Foundation for Research on Information Technologies in Society. References Tissue Properties database v4.0. 2016. Available at: <http://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database> (accessed 24 December 2019).

35. Norenkov I. P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Computer Aided Design Basics]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2002. 336 p. (in Russian).
36. Lynkov L. M., Borbotko T. B., Kazeka A. A. A protection from personal computer electromagnetic emission. *Doklady BGUIR*, 2008, no. 5, pp. 29-34 (in Russian).
37. Przesmycki R. Measurement and analysis of compromising emanation for laser printer. *Proceeding of the 35th Progress In Electromagnetics Research Symposium*. Guangzhou, China, 2014, pp. 2661-2665.
38. Yegneswari R., Ganesan R., Sivaramakrishnan R. Emission in UPS system – A systematic approach to achieve EMI compliance. *Proceeding of the 9th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility*. Bangalore, India, 2006, pp. 274-277.
39. Brodic D., Tasic V. Exposure of the Laptop Users to the Extremely Low-Frequency Electromagnetic Field. *Proceeding of the International Scientific Conference UNITECH*. Gabrovo, Bulgaria, 2014, pp. 59-64.
40. Sidorenko A. V., Galkovskiy M. V. Shirokopolosnyj generator jelektromagnitnogo shuma [Broadband electromagnetic noise generator]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, priurochennoj k 50-letiju MRTI-BGUIR*. [Proceedings of International scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of MRTI-BSUIR]. Minsk, 2014, pp. 350-351 (in Russian).
41. Suzev V. V. *Cifrovaja obrabotka signalov. Metody i algoritmy*. [Digital signal processing. Methods and algorithms]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2014. 188 p. (in Russian).
42. Dmitriev E. V. Approximation of Short Processes, Signals, Functions and Calculation of Their Harmonic Discrete Spectrum. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy*, 2007, vol. 10, no. 4, pp. 48-55 (in Russian).
43. Sidorenko A. V. Ocenka sostojaniya operatora v uslovijah jelektromagnitnyh shumovyh izluchenij [Assessment of the state of the operator in conditions of electromagnetic noise emissions]. *Doklady BGUIR*, 2018, no. 7, pp. 118-122 (in Russian).

Статья поступила 07 ноября 2019 г.

Информация об авторе

Викторов Владимир Александрович – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Старший научный сотрудник научно-исследовательского центра. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Область научных интересов: сбор и обработка информации, радиомониторинг, технология блокчейн, численные методы, системы связи с кодовым разделением каналов. E-mail: vova7dima@gmail.com.

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

The model of electromagnetic fields that generate by an automated workplace of an object of informatization

V. A. Viktorov

Problem statement. When solving some applied tasks of electromagnetic safety of operators, electromagnetic compatibility of technical equipment located at an automated workplace and protecting information from leakage through side channels of electromagnetic radiation and interference, a problem often arises related to monitoring the levels of electromagnetic fields created by computing equipment. **The purpose of the research** is to create a discrete model of an automated workplace, by which it will be possible to forecast the electromagnetic environment and to calculate the electromagnetic field at given points in the space of the automated workplace using known radiation source parameters including their location in the model. The calculations are carried out to assess the impact of electromagnetic fields created by technical devices of the automated workplace on the operator's body. **Methods.** When presenting the entire environment of the automated workplace in the form of a discrete model, all material bodies located in the researched area should be modeled: the walls of the offices, the tissues of operators, radiation sources, and interior items. The approach described in the article made it possible to move from a real representation of an automated workplace to its model presented in a discrete environment consisting of many elementary cubic cells. The output of the discrete model obtained by the author's algorithm is well matched with the finite-difference time domain method. **The novelty** of this work relates to the fact that a discrete model of the automated workplace has been developed for the analysis of the electromagnetic environment taking into account the variety of radiation sources in an automated workplace. For the first time, the modeling of signals technical equipment located at an automated workplace is carried out by a combination of harmonic components that together form a priori known signal spectrum with a given accuracy of 10%. Harmonic components are determined using the author's algorithm presented in this article. **The results.** The current solution of modeling an automated workplace fully satisfies both external and internal requirements for models, and ideally suits for forecasting the electromagnetic field using the finite-difference time domain method. The verification of such a model was carried out by solving test tasks in which simple geometric figures were set and the relative error was calculated. The results obtained by comparing the calculation values of the volume of figures and the volume of their models showed that the relative error in representing the environment under research in cubic cells depends on the magnitude of the coefficient of detail. With the detail step $\lambda / 20$, the error is less than 5%. **The practical relevance of the research** is mainly determined by the possibility of using them as source data for statistical simulation of safety of an operator of an automated workplace. The presented solution was tested and implemented in the specialized software "Model for forecasting the electromagnetic environment at the objects of control systems", certificate of state registration of program is No.2019617181 dated 06/05/2019, the date of state registration in the Register of computer programs is 04/06/2019.

Key words: electromagnetic environment, operator electromagnetic safety, finite-difference time domain method, object of informatization, discrete model.

Information about Author

Vladimir Aleksandrovich Viktorov – Doctoral Student. Senior Research Officer of Research Center. Military Communications Academy named after the Marshal of the Soviet Union S. M. Budenny. Field of research: collecting and processing of information, radiomonitoring, blockchain technology, numerical methods, code division multiple access communication systems. E-mail: vova7dima@gmail.com.

Address: Russia, 194064, St. Petersburg, Tikhoretsky Ave., 3.