

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА, ФОРМИРУЕМАЯ В УЧЕБНЫХ КЛАССАХ ЛИНЕЙНЫМ РЯДОМ КОМПЬЮТЕРОВ

В. Д. Сахацкий, Ю. С. Палиенко

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков. Украина

На основе теории антенных решеток, получена математическая модель формирования электромагнитной обстановки в области расположения линейного ряда компьютеров в высокочастотном и низкочастотном спектрах излучения компьютера. Даны рекомендации по контролю напряженности поля в компьютерных учебных классах.

Ключевые слова: персональный компьютер, напряженность поля, высокие и низкие частоты, контроль.

Постановка задачи

В настоящее время нет необходимости доказывать целесообразность использования компьютерной техники в системах управления технологическими процессами, проектирования, научных исследований, административного управления, в учебном процессе, банковских расчетах, здравоохранении, сфере обслуживания и т. д. Персональный компьютер (ПК), как источник электромагнитных излучений представляет собой определенную опасность для оператора ПК. Поэтому для безопасности оператора установлены определенные нормы на уровень электромагнитных излучений ПК и определены его опасные зоны излучений. На практике в учебных классах и производственных помещениях используются одновременно несколько компьютеров. Измерения уровней электромагнитных излучений (ЭМИ) ПК, проведенные различными исследователями, показали, что в реальных производственных условиях, когда в помещении расположены несколько компьютеров, наблюдается более высокий уровень излучения на рабочем месте оператора по сравнению с установленными нормами. Причины формирования зон с высоким уровнем излучения в должной степени не изучены.

Целью статьи является оценка электромагнитной обстановки, создаваемой в помещении линейным рядом ПК при их одновременной работе и разработка рекомендаций по совершенствованию методов ее контроля.

Анализ литературы

На практике в учебных классах и в производственных помещениях ПК обычно располагаются в один или несколько рядов. Установлены определенные требования к размещению ПК в производственных помещениях.

Так, согласно[1], площадь одного рабочего места, оборудованного ПЭВМ, должна составлять не менее 6 кв.м., объем – не менее 20 куб.м. Для исключения воздействия повышенных уровней электромагнитных излучений расстояние между экраном монитора и работником должно составлять не менее 0,5 м (оптимальное 0,6–0,7 м). Для обеспечения безопасности работников на соседних рабочих местах расстояние между рабочими столами с мониторами (в направлении тыла поверхности одного монитора и экрана другого монитора) должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 м.

ЭМИ, создаваемое отдельным ПК, имеет сложный спектральный состав в широком спектре частот. Источники ЭМИ и их частотный диапазон, а также влияние ЭМИ на здоровье оператора ПК описаны в ряде работ [2-7]. Основные источники ЭМИ ПК приведены в таблице 1.

Таблица 1.

ПК как источник ЭМП

Источник	Диапазон частот (первая гармоника)
Монитор сетевой, трансформатор блока питания	50 Гц
Статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20 - 100 кГц
Блок кадровой развертки и синхронизации	48 - 160 Гц
Блок строчной развертки и синхронизации	15 - 110 кГц
Ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ)	0 Гц (электростатика)
Системный блок (процессор)	50 Гц - 1000 МГц
Устройства ввода/вывода информации	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20 - 100 кГц

В настоящее время напряженность электрического и магнитного полей ПК нормируется для частот от 5 Гц до 400 кГц. Между тем, как видно из табл.1, спектр излучения ПК простирается до диапазона СВЧ. Ввиду малости уровня ВЧ и СВЧ излучений они считаются безопасными для оператора и при решении вопросов охраны труда этим видом излучений пренебрегают. По вопросам нормирования ЭМИ ПК в России появились два основополагающих стандарта (гармонизированные с MPR 1990:8 и MPR 1990:10), которые были введены в действие в 1997 году. Это ГОСТ Р 50948-96. «Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности» и ГОСТ Р 50949-96 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки

эргономических параметров и параметров безопасности». С учетом данных стандартов Госсанэпиднадзор России разработал и с 1-го января 1997 года ввел в действие обязательные санитарные правила и нормы – СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Нормированные значения уровней ЭМИ ПК приведены в табл.2.

Таблица 2.

Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей при работе с видеодисплейными терминалами и персональными электронно вычислительными машинами. (СанПиН 2.2.2.542-96)

№ п/п	Параметры воздействия, частота излучения	Допустимые значения
1	ЕДУ, статическое поле	20 000 В/м
2	ЕДУ, на расстоянии 50 см вокруг	
	- в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
3	- в диапазоне частот 2 - 400 кГц	2,5 В/м
4	НДУ, переменное поле на расстоянии 50 см вокруг	0,25 А/м
	ВДУ, магнитная индукция не более	
5	- в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	- в диапазоне частот 2 - 400 кГц	25 нТл
	Поверхностный электростатический потенциал не более	500 В

Результаты измерений напряженности поля в реальных условиях показывают, что уровень ЭМИ на рабочих местах операторов ПК намного превышает допустимые значения (табл.3.). Поэтому изучение процессов формирования ЭМО в реальных производственных условиях, которое необходимо для выяснения причин возникновения высоких уровней ЭМИ, остается актуальной задачей.

Основная часть

На основании проведенного анализа литературных источников можно сделать вывод, что помимо излучения на низких и средних частотах (НЧ, СЧ) компьютер создает излучение на высоких, очень высоких частотах (ВЧ, ОВЧ) и на сверхвысоких частотах (СВЧ), хотя нормированию и контролю в настоящее время подлежит излучение только в области НЧ и СЧ.

Любой излучатель создает вокруг себя поля ближних и дальних зон излучений. Если элементы ПК, создающие ЭМИ, можно рассматривать как

дипольные излучатели, то в диапазонах НЧ, СЧ и части ВЧ весь объем производственных помещений и учебных классов, в которых размещены ПК, будет находиться под воздействием полей ближних зон излучений, а в диапазонах ОВЧ и СВЧ- дальних зон излучений, т.к. для дипольного излучателя размеры ближней зоны определяются соотношением $R < \lambda/2\pi$, а дальней- $R > \lambda/2\pi$ [8].

Таблица 3.

Максимальные значения ЭМП на рабочем месте

Вид поля, диапазон частот, единица измерения напряженности поля	Значение напряженности поля	
	по оси экрана	вокруг монитора
Электрическое поле, 100 кГц- 300 МГц , В/м	17,0	24,0
Электрическое поле, 0,02- 2 кГц, В/м	150,0	155,0
Электрическое поле, 2- 400 кГц В/м	14,0	16,0
Магнитное поле, 100кГц- 300МГц, мА/м	ниже чувствительности прибора (нчп)	нчп
Магнитное поле, 0,02- 2 кГц, мА/м	550,0	600,0
Магнитное поле, 2- 400 кГц, мА/м	35,0	35,0
Электростатическое поле, кВ/м	22,0	-

1. ЭМО, создаваемая линейным рядом компьютеров в дальней зоне излучения.

Диапазон излучения компьютеров занимает не только низкочастотную часть но и простирается до СВЧ диапазонов. В частности в работе [9] отмечено излучение компьютеров на частотах 60 МГц, 220 МГц, 300 МГц. Оценим характер распределения напряженности поля в высокочастотной части спектра, создаваемой ПК расположенных линейным рядом вдоль стены помещения (рис.1). Такой ряд излучателей можно рассматривать как антенную решетку и для определения ЭМО можно воспользоваться результатами теории антенных решеток. Так как по нормам стены помещения в компьютерных классах должны иметь коэффициент отражения меньше 30%, то влиянием стен на формирование ЭМО в первом приближении можно пренебречь.

Предположим, что ПК работаю в синфазном режиме излучения. В этом случае, согласно [10], амплитудная диаграмма направленности (ДН) такой решетки излучателей может быть представлена в следующем виде.

$$E|\Theta| := A \cdot f1|\Theta| \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot N \cdot d \cdot \sin|\Theta|\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin|\Theta|\right)}$$

где:

A- постоянный (амплитудный) множитель, пропорциональный амплитуде ЭМИ одного ПК;

f1(Θ) – диаграмма направленности эквивалентного излучателя в решетке;

N- число компьютеров;

d- расстояние между компьютерами;

Θ – угловые координаты;

λ – длина волны.

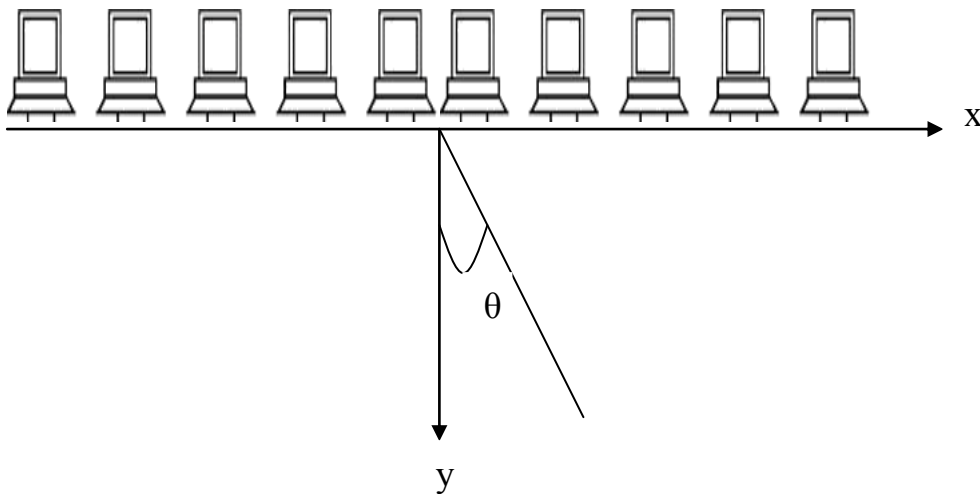


Рис. 1. Линейный ряд компьютеров создающий ЭМО в дальней зоне излучения

Если фаза ЭМИ ряда компьютеров меняется по линейному закону, то амплитудная ДН будет описываться формулой [8]:

$$E = Af1(\Theta, \gamma) \frac{\sin\left(\frac{N}{2}(hd \sin \Theta + \Psi_1)\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}(hd \sin \Theta + \Psi_1)\right)}$$

где:

Ψ - сдвиг по фазе между полями соседних излучателей.

Экспериментально измеренная ДН одного компьютера [5], практически соответствует ДН антенны с активным директором, приведенной в [10]. Данная диаграмма описывается уравнением

$$f1|\Theta| := A \cdot \cos\left[\frac{\pi}{4} \left|\sin|90 - \Theta| - 1\right|\right]$$

Поэтому в качестве математической модели ДН одиночного компьютера $f_1(\theta)$ можем использовать данное аналитическое выражение.

Численный анализ относительной амплитудной ДН ($E_1 = E/A$), формируемой в помещении ПК, проводился для числа ПК в линейном ряду $N=10$ и расстоянии между ПК $d=1$ м.

Результаты расчета ДН для синфазного излучения ряда ПК показаны на рис. 2- рис.4.

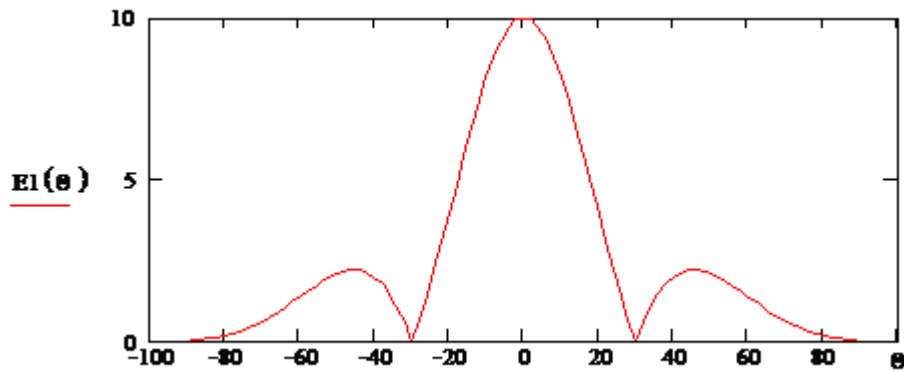


Рис.2. Диаграмма направленности на частоте 60 МГц.

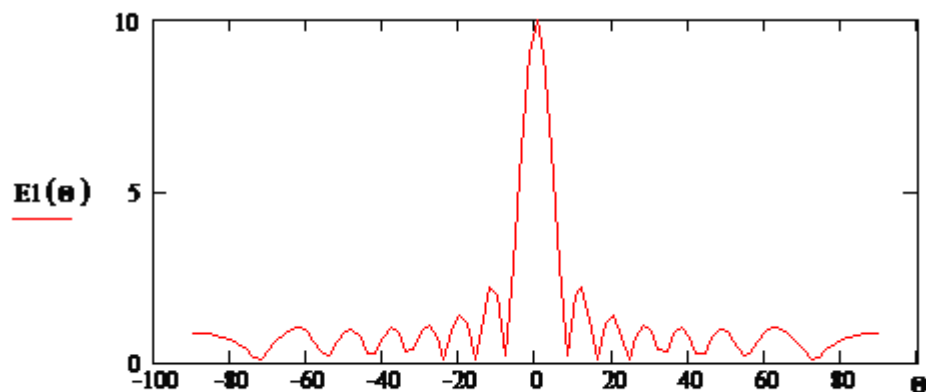


Рис.3. Диаграмма направленности на частоте 220 МГц.

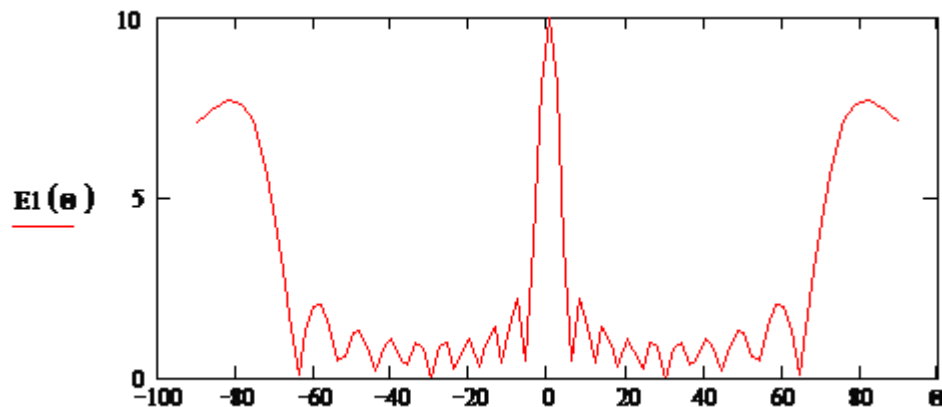


Рис.4. Диаграмма направленности на частоте 300 МГц.

Для линейного закона изменения фазы излучений, когда $\Psi = 18^\circ$, результаты расчета представлены на рис. 5- рис.7.

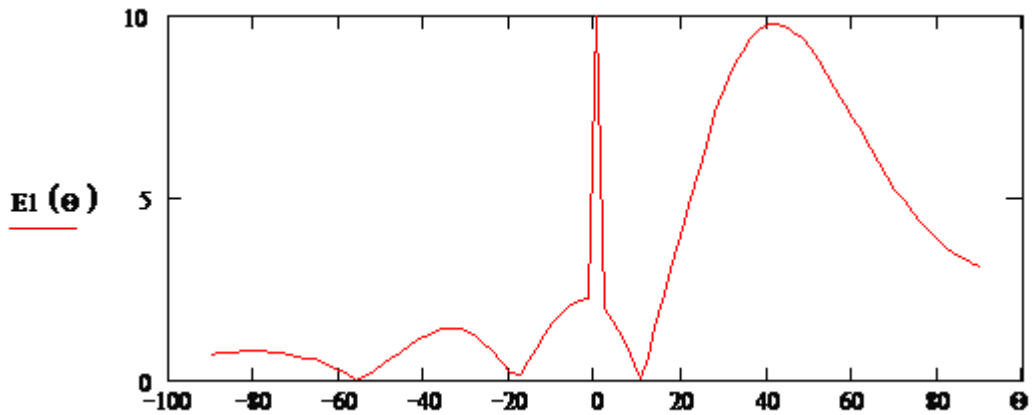


Рис.5. Диаграмма направленности на частоте 60 МГц.

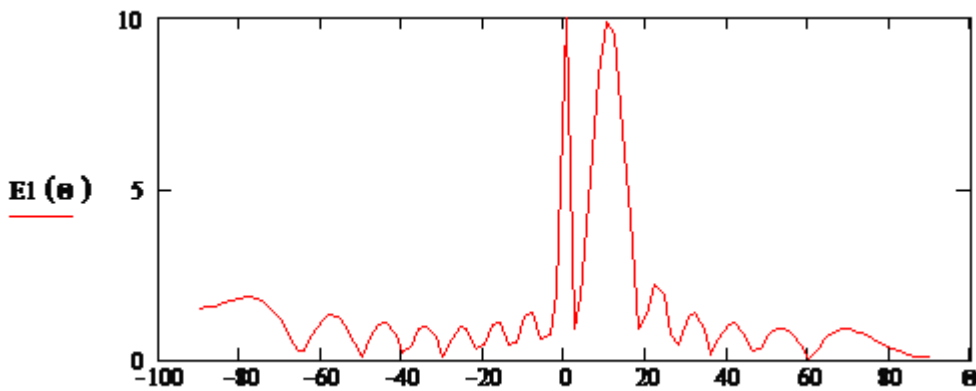


Рис.6. Диаграмма направленности на частоте 220 МГц.

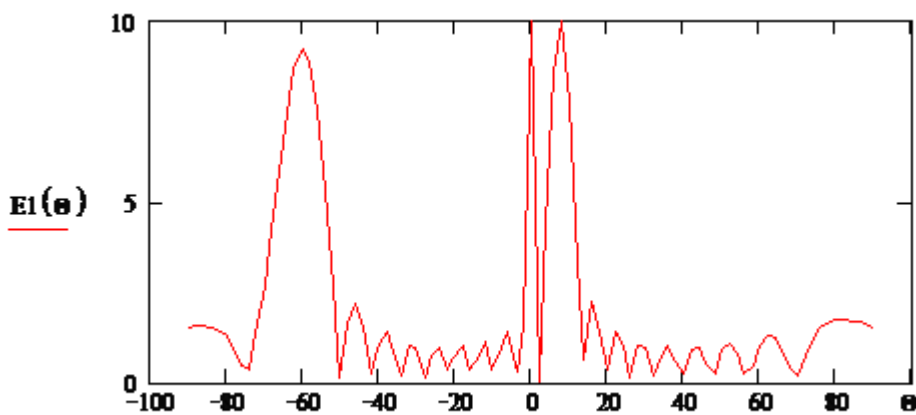


Рис.7. Диаграмма направленности на частоте 300 МГц.

Из рисунков видно, что при синфазном излучении в направлении перпендикулярном линии расположения ПК в центральной области ряда ПК образуется остронаправленное излучение с амплитудой превышающей

амплитуду ЭМИ одиночного ПК. Если длина волны будет равной или меньше расстояния между ПК, то наряду с центральным формируется мощное боковое излучение вдоль ряда ПК.

При линейном законе изменения фазы излучения боковое излучение наблюдается во всех случаях.

2. Напряженность поля, создаваемая линейным рядом компьютеров в ближней зоне излучения.

На НЧ и СЧ размеры помещения гораздо меньшей длины волны, поэтому обслуживающий персонал будет находиться под воздействием полей ближней зоны излучения. Напряженность поля будем определять вдоль линии расположения компьютеров на расстоянии y_0 (рис. 8).

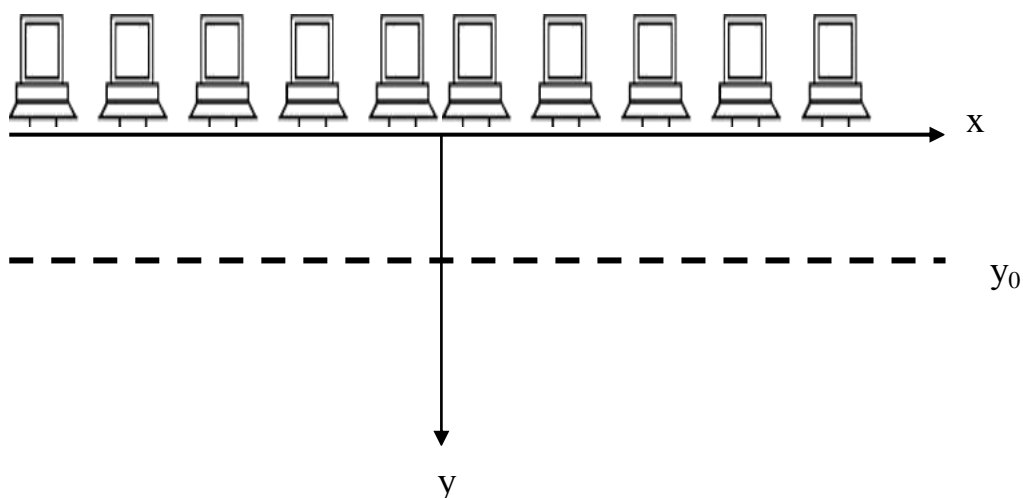


Рис. 8. Линейный ряд компьютеров, создающий ЭМО в ближней зоне излучения

Пусть N - число ПК, расположенных вдоль оси x и расстояние между ними равно d . Найдем напряженность поля, создаваемую таким рядом компьютеров в произвольной точке (x_0, y_0) . Полагаем также, что математической моделью источника ЭМИ может служить электрический диполь. Будем считать, что электрическая напряженность поля ПК вертикальной поляризации создается вертикальным электрическим диполем, а поле горизонтальной поляризации – горизонтальным электрическим диполем. Из геометрических соображений следует, что расстояние r_k от k -го компьютера до точки наблюдения (x_0, y_0) можно найти из соотношения.

$$r_k = \sqrt{(x_0 - kd)^2 + y_0^2},$$

где: $k=1, 2, \dots, N$,

Найдем поле вертикальной поляризации в плоскости xu для k -го излучателя. В этом случае используя известное выражение для поля электрического диполя [5] при $r_k \ll \lambda$ получим

$$E_k = \frac{P}{4\pi \epsilon_k^3},$$

где: $p = P_m e^{j(\omega t + \gamma_k)}$ - дипольный момент,
 γ_k – фаза излучателя,
 ε - абсолютная проницаемость окружающей среды.

Для идеального диполя, амплитуда дипольного момента: $P_m = const$ [5].

Комплексная амплитуда напряженности поля, создаваемая в точке наблюдения (x_0, y_0) , N излучателями определяется суммой полей, создаваемых в этой точке каждым излучателем.

$$E = \sum_{k=1}^N E_k = \sum_{k=1}^N \frac{P_m \cdot e^{j\gamma_k}}{4\pi\varepsilon_0 r_k^3} = \frac{P_m}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{k=1}^N \frac{e^{j\gamma_k}}{r_k^3}$$

Будем отсчитывать фазу излучателя относительно фазы первого компьютера, значение которой пусть будет нулевым ($\gamma_1 = 0^0$).

Пусть на расстоянии r_0 компьютер создает напряженность поля $E(r_0)$, которая соответствует установленным нормам:

$$E_{(r_0)} = \frac{P_m e^{j(\omega t + \gamma_1)}}{4\pi\varepsilon_0 r_0^3} .$$

Найдем напряженность поля в точке (x_0, y_0) , расположенной от N источников излучений по отношению к нормированному значению напряженности поля $E(r_0)$.

Для отношения комплексных амплитуд получим:

$$E_{otn} = \frac{E}{E_{(r_0)}} = \sum_{k=1}^N \frac{r_0^3}{r_k^3} \cdot e^{j\gamma_k} ,$$

где $\gamma_k = 0$ при $k=1$.

В дальнейшем значение E_{otn} будем брать по модулю. При расчете полагалось, что число компьютеров в помещении $N= 10$. Расстояние от компьютеров, на которых определяется напряженность поля вдоль ряда ПК: $y_1=0,5\text{м}$; $y_2=1\text{м}$; $y_3=1,5\text{м}$; $y_4=2\text{м}$. Приведенные ниже графики распределения E_{otn} для данных расстояний обозначены следующими линиями: — $y_0 = 0,5 \text{ м}$; $y_0 = 1 \text{ м}$; - - - $y_0 = 1,5 \text{ м}$; - · - · $y_0 = 2 \text{ м}$;

На рис. 9 и рис.10 показано распределение E_{otn} вдоль ряда ПК на соответствующем расстоянии y_0 , когда ПК имеют синфазное излучение. Чтобы иметь наглядное представление о формируемой ЭМО напротив того или иного ПК, по оси абсцисс отложен порядковый номер ПК.

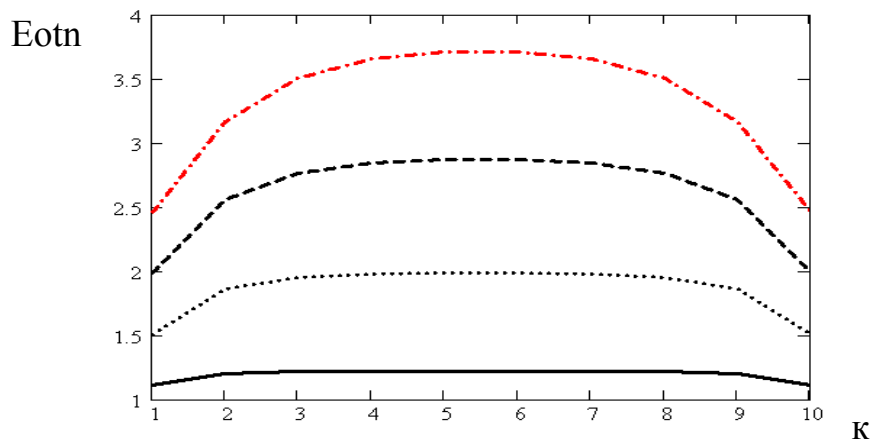


Рис. 9. Распределение напряженности поля вдоль ряда ПК при расстоянии между ними $d=1$ м

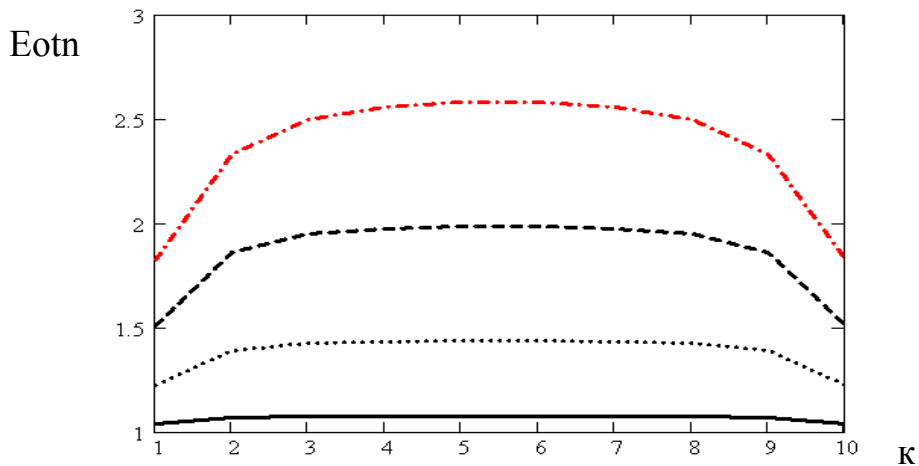


Рис. 10. Распределение напряженности поля вдоль ряда ПК при расстоянии между ними $d=1,5$ м.

Из рисунков видно, что при увеличении расстояния d между ПК напряженность поля в ближней зоне падает. С ростом расстояния от линейного ряда компьютеров напряженность поля растет и превышает допустимую напряженность поля. Расчеты показали, что на расстояниях $y_0 \geq 4$ м напряженность поля будет уменьшаться. Максимум излучения находится посередине линейного ряда ПК.

На рис. 11 и рис. 12 показано аналогичное распределение E_{otn} при линейном изменении фаз излучения вдоль ряда ПК. Фазы излучения соседних ПК определялись из уравнения
$$\chi_k = \frac{180}{N} \cdot \frac{1 \cdot \epsilon}{N \cdot \epsilon}$$

Анализ результатов расчета показывает, что с ростом расстояния между компьютерами - d напряженность уменьшается. Минимум излучения находится посередине линейного ряда ПК и напряженность поля растет по мере приближения к краям ряда ПК. С ростом расстояния от линейного ряда ПК напряженность поля увеличивается и при $y_0 \geq 4$ м наблюдается ее уменьшение.

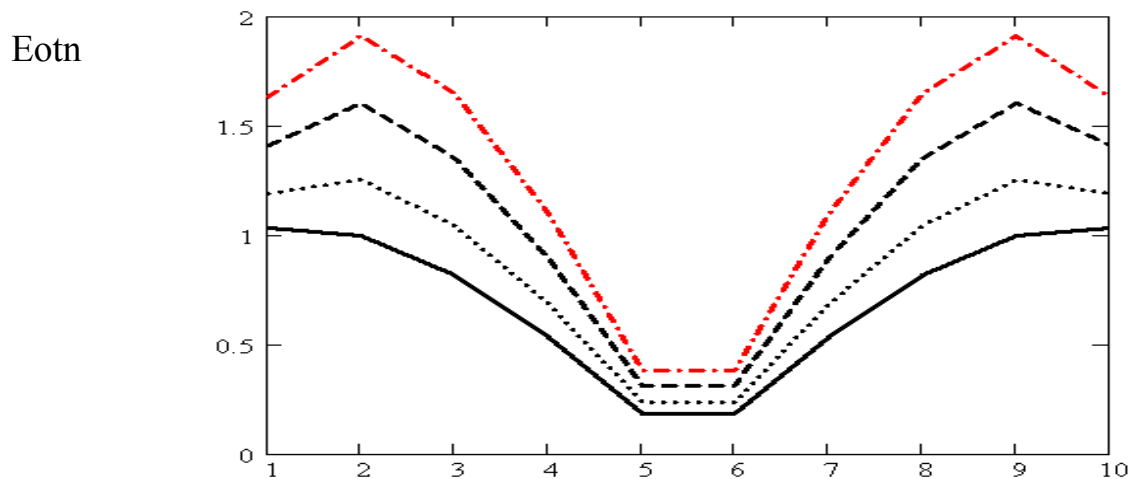


Рис. 11. Распределение напряженности поля вдоль ряда ПК при расстоянии между ними $d=1,5$ м.

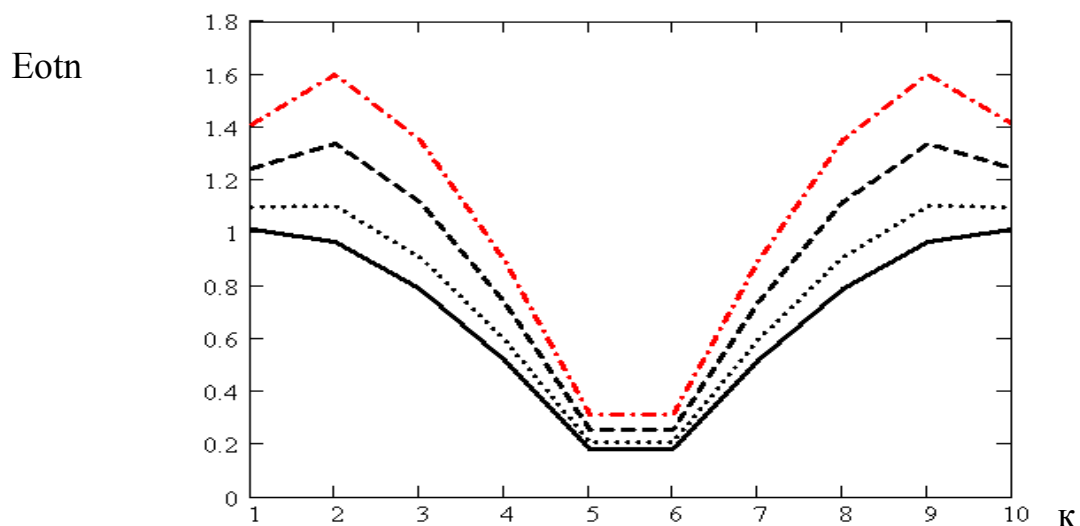


Рис.12. Распределение напряженности поля вдоль ряда ПК при расстоянии между ними $d=2$ м.

При хаотическом изменении фаз излучения ПК характер ЭМО вблизи ряда ПК показан на рис. 13 и рис.14. Расстояние между ПК $d=1,5$ м оставалось постоянным для всех случаев распределения фазы γ_k вдоль его ряда.

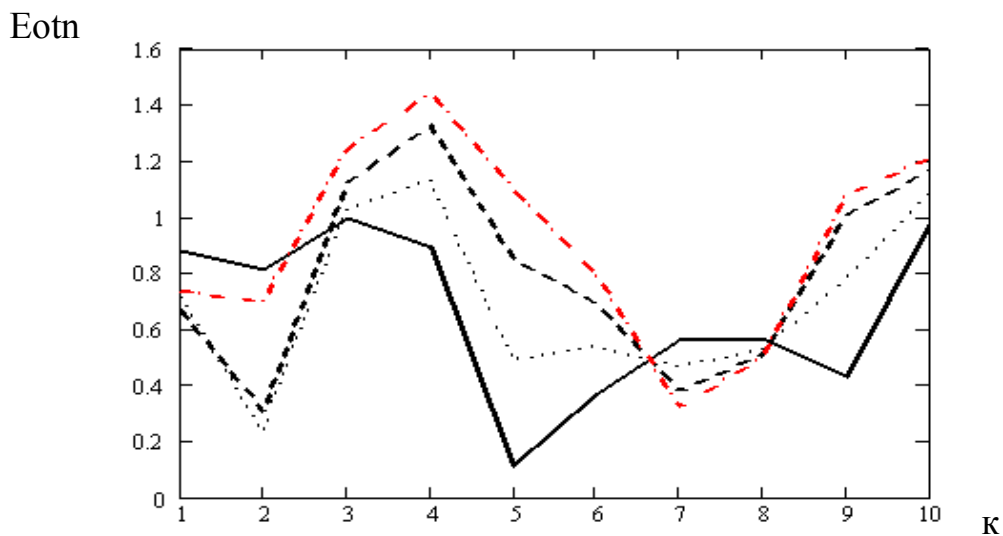


Рис. 13. Распределение напряженности поля вдоль ряда ПК , когда фазы излучения соседних ПК имели следующие значения: $\gamma_k = 162^\circ, 0^\circ, 180^\circ, 144^\circ, 90^\circ, 108^\circ, 126^\circ, 54^\circ, 72^\circ, 18^\circ$.

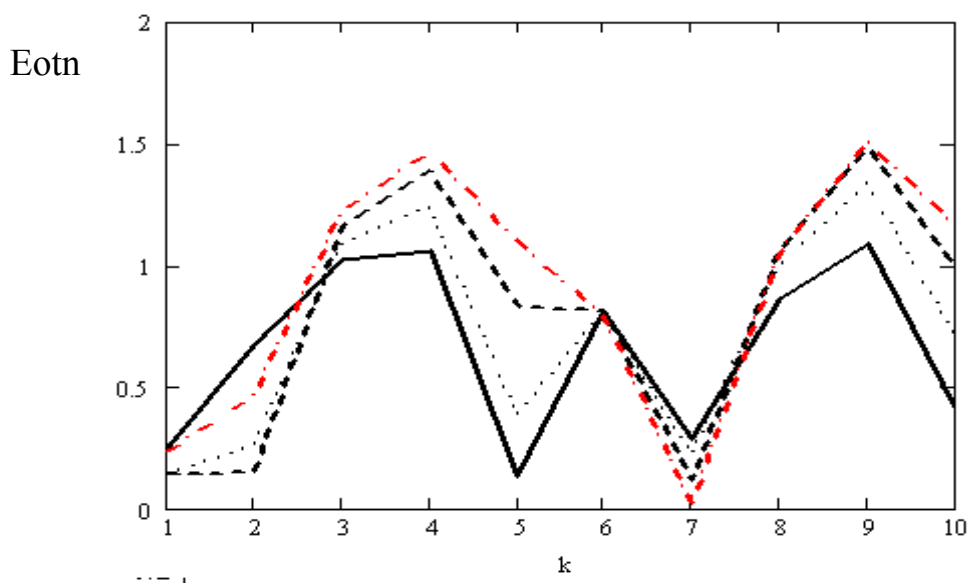


Рис. 14. Распределение напряженности поля вдоль ряда ПК , когда фазы излучения соседних ПК имели следующие значения: $\gamma_k = 72^\circ, 144^\circ, 0^\circ, 360^\circ, 252^\circ, 324^\circ, 288^\circ, 216^\circ, 180^\circ, 36^\circ$.

Из рисунков видно, что на расстоянии 0,5 м от компьютеров напряженность поля линейного ряда не превышает допустимую напряженность поля. При удалении от компьютеров на расстояние $y_0 = 2$ м напряженность поля возрастает примерно в 1,4 раза. Расположение повышенного значения напряженности поля зависит от характера распределения фаз ЭМИ ПК.

Выводы

Получены математические модели для оценки ЭМО, создаваемой линейным рядом ПК в низкочастотной и высокочастотной областях спектра излучения ПК. Установлены закономерности распределения напряженности поля вдоль линейного ряда ПК на различных от него расстояниях. Анализ результатов расчета показал, что при наличии в помещении линейного ряда ПК необходимо контролировать уровень их ЭМИ не только в диапазонах НЧ и СЧ, но и в диапазонах ОВЧ и СВЧ. При контроле уровней ЭМИ на рабочих местах операторов ПК в области НЧ и СЧ требуется проведение повторного контроля. Так как фаза излучения ПК может изменяться, то напряженность поля при первой серии измерений может иметь низкие значения, а при повторной серии измерений более высокие.

Литература

1. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
2. Ильин В. Человек и компьютер: есть ли управа на агрессивные электромагнитные поля? / В. Ильин // Народное образование. - 2003. - № 6. - С. 128-129.
3. Кураев Г. А. Влияние электромагнитных излучений персональных компьютеров на организм человека / Г. А. Кураев, В. Б. Войнов, Ю. Н. Моргалев // Вестн. Томск. гос. ун-та. - 2000. - № 269. - С. 8-14. - Библиогр.: 58 назв.
4. Пивоваров Ю. П. Влияние электромагнитного излучения компьютера на здоровье и профилактика его вредного воздействия / Ю. П. Пивоваров, И. Е. Чернозубов // Мед. помощь. - 2002. - № 5. - С. 43-46.
5. Чумаров И. С. Спектр источника опасных побочных электромагнитных излучений персональных ЭВМ с растровыми системами отображения информации / И. С. Чумаров // Безопасность информ. технологий. - 1998. - № 1. - С. 91-97. - Библиогр.: 7 назв.
6. Баландина Е. А. Защита от электромагнитных полей. Безопасность работы на компьютере : учеб. пособие к диплом. проектированию и практ. занятиям / Е. А. Баландина, А. М. Пономарев, О. Н. Хмарук; М-во образования Рос. Федерации, Владимир. гос. ун-т. - Владимир: ВлГУ, 2001. - 66 с. - Библи-огр.: с. 65.
7. Басс С. Опасны ли мониторы // Мир ПК. - 1996. - № 4. - С. 168.
8. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебн. пособие. – М.: Наука, 1989.-544 с.
9. Зиньковский Ю.Ф., Клименко В.Г., Погребняк В.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учебн. пособие. – К.: УМК ВО, 1990.-264 с.
10. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных активных решеток. Изд. 3-е.-М.: Радиотехника, 2003.- 231с.

Сахацький В.Д., Палієнко Ю.С.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ОБСТАНОВКА, ЩО ФОРМУЄТЬСЯ В УЧБОВИХ КЛАСАХ ЛІНІЙНИМ РЯДОМ КОМП'ЮТЕРІВ

За допомогою теорії антенних решіток отримано математичну модель розподілу напруженості полю, яку створює лінійний ряд комп'ютерів у низькочастотному та високочастотному спектрах випромінювання. Надано рекомендації по контролю рівня напруженості полю в комп'ютерних класах.

Ключові слова: персональний комп'ютер, напруженість полю, високі та низькі частоти, контроль.

Sakhatskiy V.D., Palienko Yu. S.

ELECTROMAGNETIC SITUATION GENERATED IN THE CLASSROOM BY THE LINEAR SERIES OF COMPUTERS

Based on the theory of antenna arrays, obtained mathematical model of the electromagnetic environment in the region of the linear series of computers in the high- and low-frequency spectra of the radiation computer. The recommendations for the control of the field of computer training classes.

Keywords: personal computer, the field strength, high and low frequency, control.