УДК 621.371.2; 621.391.82: 519.25

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОРТАТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Маслов О.Н.[1], Панферов Д.Ю.[2]
[1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
[2]Контрактный военнослужащий, Москва, РФ
E-mail: maslov@psati.ru

Рассматриваются способ и результаты определения уровней электромагнитного поля (ЭМП), создаваемого портативными средствами электронно-вычислительной техники типа Notebook. Полученные данные предназначены для мониторинга окружающей среды и оценки безопасности автоматизированных рабочих мест по фактору неионизирующего ЭМП.

Ключевые слова: электромагнитная безопасность, портативные средства компьютерной техники, уровни электромагнитного поля, допустимые нормативы.

Введение

В условиях широкого внедрение малогабаритных средств электронно-вычислительной техники: Notebook и других портативных персональных ЭВМ (далее ПЭВМ) в научно-производственную деятельность и быт современного человека не теряет актуальности проблема обеспечения их эколого-эргономической безопасности [1-2 и др.]. Принципы организации и проведения экспертизы безопасности ПЭВМ по фактору электромагнитного поля (ЭМП), а также ее основные результаты подробно изложены в [1]. Опасность для здоровья людей низкочастотных ЭМП, создаваемых мониторами ЭВМ в виде электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), можно считать установленной, однако утверждать это по отношению к ПЭВМ, где используются жидкокристаллические (ЖК) мониторы с люминесцентной и светодиодной подсветкой, сегодня оснований нет. Помимо различий в конструкции и принципах действия это обусловлено вариантом эксплуатации (стационарный или переносной), режимом электропитания (автономным от внутренних аккумуляторов или от внешней сети переменного тока), а также наличием контурной системы заземления офисного оборудования.

Цель статьи – ответ на три важных для практики вопроса: во-первых, какой относительный вклад способны вносить ПЭВМ в уровень суммарного фона по ЭМП, который имеет место в офисе или жилом городском помещении. Во-вторых, какие организационно-технические меры могут быть предприняты для снижения уровней ЭМП ввиду их негативного влияния на здоровье пользователей ПЭВМ. В-третьих, какими нормативными документами (НД) следует руководствоваться, оценивая эколого-эргономическую безопасность автоматизированных рабочих мест (АРМ), оборудованных ПЭВМ.

Исходные данные для проведения экспертизы компьютерных рабочих мест по фактору ЭМП

Напомним, что частотный спектр компьютерного ЭМП занимает полосу от 5 Гц до 2-4 ГГц [3-4]. Наиболее опасными для здоровья людей считаются низкочастотные ЭМП, поэтому действующие НД [2] фиксируют предельно-допустимые уровни (ПДУ) напряженности электрического поля E, В/м и магнитной индукции B, нТл, в двух диапазонах: от 5 Гц до 2 кГц и от 2 до 400 кГц (нормы для поверхностного электростатического потенциала и дозы рентгеновского излучения для современных компьютеров неактуальны).

По данным [1], средние уровни фона по ЭМП естественного происхождения не превышают

- на частотах 5 Гц … 2 кГц: E = 0,04 В/м; B = 0,4 нТл;
- на частотах 2 … 400 кГц: E = 0,01 В/м; B = 0,075 нТл.

Соответствующие значения ПДУ при этом равны [3]

- на частотах 5 Гц … 2 кГц: E = 25 В/м; B = 250 нТл;
- на частотах 2 … 400 кГц: E = 2,5 В/м; B = 25 нТл.

Правомерность существование разных норм для электрической E-составляющей и магнитной B-составляющей в [1] подтверждена путем анализа структуры компьютерного ЭМП. Моделью источника ЭМП, создаваемого в ближней зоне отклоняющей системой ЭЛТ, является многовитковая элементарная рамка, для которой ПДУ по B является существенно более «жесткой» нормой.

Моделью источника ЭМП, создаваемого системой разомкнутых соединительных проводов, является элементарный электрический вибратор – для которого, напротив, более «жесткой» нормой является ПДУ по *E*.

Отсюда следует, что *E*- и *B*-составляющие реальных ЭМП как в полосе 5 Гц … 2 кГц, так и в полосе 2 … 400 кГц, можно считать взаимно независимыми и нормировать их по отдельности друг от друга. Достоинство действующей методики проведения экспертизы – наличие типовых средств измерения (приборов серии B&E-метр), полностью соответствующих требованиям НД [2]. Недостатком является то, что НД [2] копируют «шведские нормы», которые были введены как национальный стандарт для проверки качества мониторов [1] и в этой связи имеют отдаленное отношение к безопасности рабочих мест по фактору ЭМП.

Необходимо также учитывать, что в пределах полосы 5 Гц … 2 кГц находится частота электросети 50 Гц, значение ПДУ для которой E = 500 В/м [1] в 20 раз превышает норму для *E*-составляющей компьютерного ЭМП (для магнитной *B*-составляющей имеют место B = 5000 нТл и аналогичное превышение). «Расфильтровать» эти ЭМП в реальных условиях достаточно трудно.

Особенности методики проведения экспертизы

На рис. 1 представлен фрагмент компьютерной сети, в состав которой входят: *1* – ПЭВМ с периферийными устройствами *2* (принтеры, сканеры, сервер и т.п.); *3* – сеть электропитания 220 В, 50 Гц (сплошная линия на рис. 1); *4* – контурная система заземления (точечная линия на рис. 1) и *5* – используемый при проведении экспертизы измерительный прибор (ИП). По способу формирования ЭМП на АРМ операторов ПЭВМ элементы схемы *1* и *2* следует считать сосредоточенными случайными антеннами (СА), а элементы *3* и *4* – распределенными СА [3]. Соответствующие рис. 1 спектрограммы техногенного фона по ЭМП в полосе частот 30 Гц … 2 кГц приведены на рис 2а – при отсутствии системы заземления и 2б – при наличии контурного заземления [1].

Можно видеть, что при заземлении ПЭВМ с частотой кадровой развертки 100 Гц из структуры фона одновременно с частотой 50 Гц «выпадает» целый ряд достаточно интенсивных ЭМП:

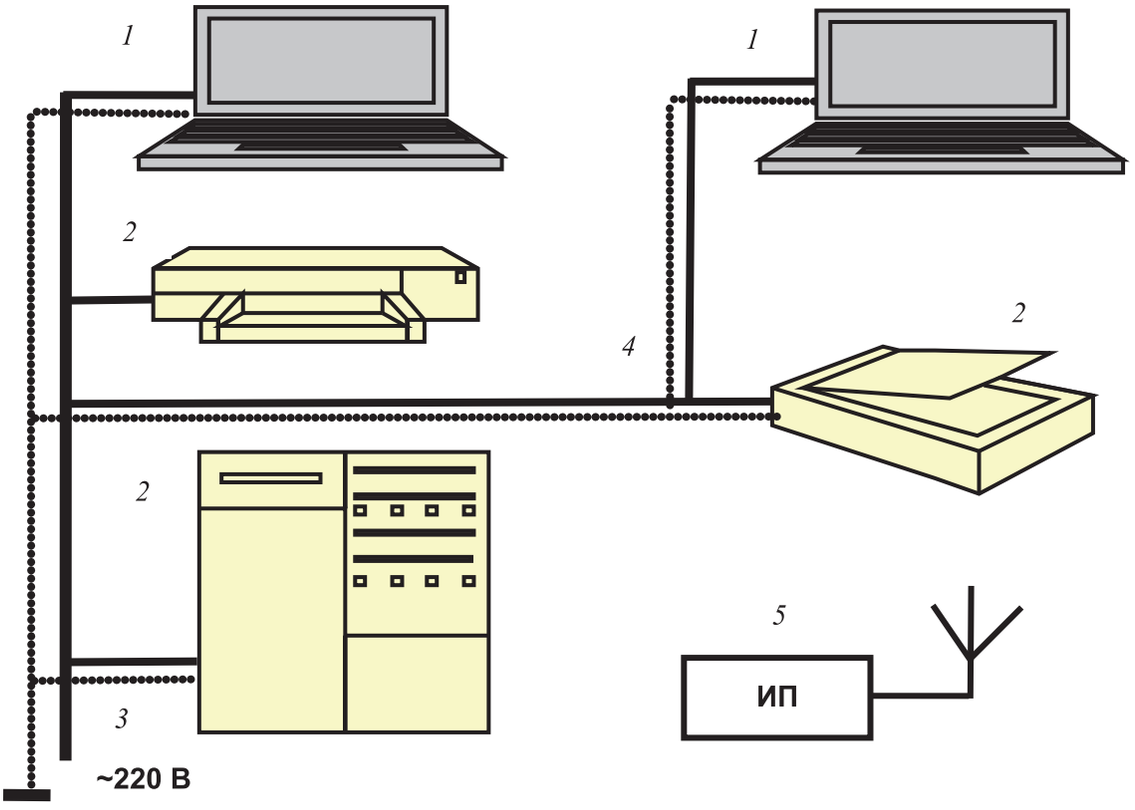
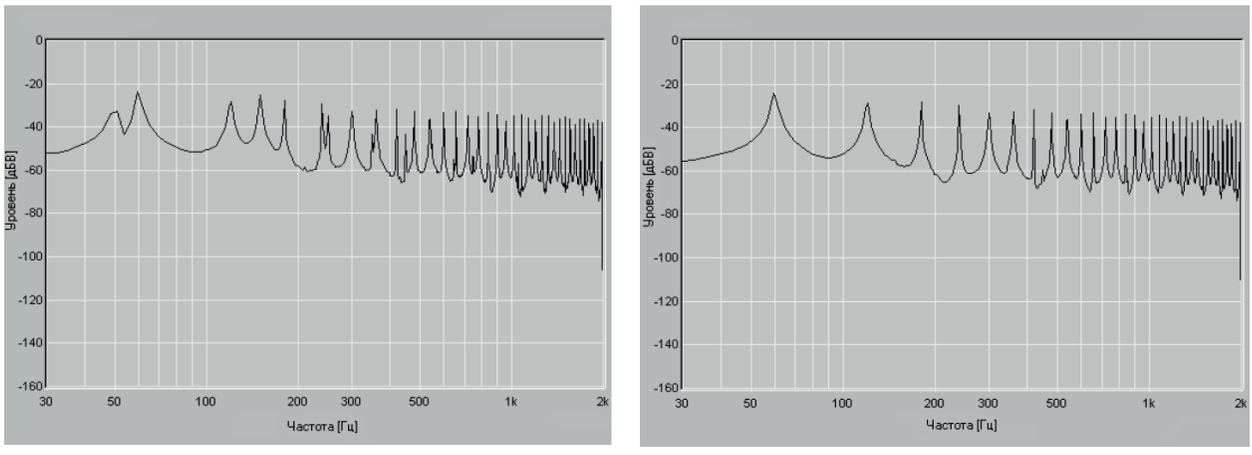


Рис. 1. Система СА, формирующих структуру ЭМП на рабочих местах операторов ПЭВМ: *1-2* – сосредоточенные СА (ПЭВМ с периферийными устройствами); *3-4* – распределенные СА (цепи электропитания и заземления); *5* — используемый при экспертизе измерительный прибор ИП



а) б)

Рис. 2. Спектрограмма уровней ЭМП ПЭВМ при кадровой частоте монитора 60 Гц
а) без заземления; б) с контурным заземлением

150 Гц; 250 Гц; 350 Гц; 450 Гц и т.д. (поэтому на спектрограмме рис. 2б присутствуют только продукты частоты кадровой развертки 60 Гц).

Даже если на входе ИП отфильтровать частоту 50 Гц, продукты ее преобразования в составе частотного спектра (см рис. 2а) останутся, и это будет по-прежнему существенно искажать показания ИП – не говоря уже о том, что на оператора ПЭВМ будут по-прежнему воздействовать все ЭМП без исключения.

Таким образом, введение в схему ИП B&E-метр режекторного фильтра на частоту 50 Гц не является решением проблемы, поскольку электросеть взаимодействует с большим числом СА – переизлучателей ЭМП (как линейных, так и нелинейных), в результате чего спектр техногенного фона обогащается гармониками, а также продуктами комбинационного и интермодуляционного преобразований частоты 50 Гц.

Корректировка НД [2] и введение на частотах 45 … 55 Гц для АРМ значений ПДУ E = 500 В/м и B = 5000 нТл (по аналогии с потребительской бытовой аппаратурой) в этой связи представляется правильным шагом – однако задача реализовать экспертизу в соответствии с данной нормой является новой и непростой в научно-технологическом плане. Ясно, что проблема оценки безопасности ПЭВМ может быть решена в рамках системного подхода, с применением специализированных ИП. В то же время представляет интерес экспериментальная оценка возможностей ИП B&E-метр, предназначенного для экспертизы АРМ в соответствии с действующими НД [2].

Результаты экспериментальных измерений

В таблицах 1-4 представлены результаты измерения уровней ЭМП на стандартном расстоянии от ПЭВМ, полученные с помощью ИП типа B&E-метр АТ-002, а также уровни фона в городском жилом помещении на частотах 5 Гц … 2 кГц и 2 … 400 кГц для трех АРМ, оснащенных ПЭВМ разных типов и другим оборудованием.

В таблице 1 приведены результаты измерения прибором B&E-метр уровней ЭМП, создаваемых Notebook Lenovo, дисплей 15 дюймов, на расстоянии 0,5 метра (точка №1) и 1 метр (точка №2), при разных вариантах электропитания и отсутствии системы заземления на АРМ №1. Здесь же для удобства сравнения указаны значения ПДУ по ЭМП для ПЭВМ и для частоты 50 Гц.

Таблица 2 содержит аналогичные данные для АРМ №1 и расстояния 0,5 м при разных вариантах временного заземления системы электропитания. В таблице 3 представлены данные для АРМ №2, оснащенного Notebook Samsung (дисплей 17 дюймов) с принтером HP LaserJet 1200 на расстоянии 0,5 м при разных вариантах электропитания и временного заземления.

Таблицы 4-5 содержат результаты измерения уровней фона и ЭМП на АРМ №3, оснащенном Notebook Lenovo и планшетом iPad Apple (в обоих случаях дисплеи 10 дюймов), при разных вариантах электропитания и отсутствии системы заземления.

Содержание таблиц 1-5 характеризуют два общих момента:

- на частотах 2 … 400 кГц уровни ЭМП всех ПЭВМ и другого оборудования, в отличие от компьютеров с ЭЛТ [1], не превышают уровни фона в помещении и ПДУ действующих НД;
- на частотах 5 Гц … 2 кГц уровни магнитной B-составляющей также не превышают уровни фона и ПДУ, однако уровни электрической

Таблица 1. Результаты измерения уровней фона и ЭМП, создаваемых Notebook Lenovo, дисплей 15 дюймов, на расстоянии 0,5 м (точка №1) и 1 м (точка №2) при разных вариантах электропитания и отсутствии системы заземления

Полоса частот		5 Гц … 2 кГц		2 … 400 кГц	
Характеристика ЭМП		*E*; В/м	*B*; нТл	*E*; В/м	*B*; нТл
Точка №1	Фон по ЭМП	13	180	0,01	0...1
	Автономное электропитание	12	150	0,01	1
	Электропитание от сети	49	160	0,13	1
Точка №2	Фон по ЭМП	7	200	0,01	0...1
	Автономное электропитание	8	200	0,01	0...1
	Электропитание от сети	21	180	0,01	0...1
ПДУ по ЭМП для ПЭВМ		25	250	2,5	25
ПДУ по ЭМП для 45-55 Гц		500	5000	–	–

Таблица 2. Результаты измерения уровней фона и ЭМП, создаваемых Notebook Lenovo, дисплей 15 дюймов, на расстоянии 0,5 м при разных вариантах систем электропитания и заземления

Полоса частот		5 Гц … 2 кГц		2 … 400 кГц	
Характеристика ЭМП		*E*; В/м	*B*; нТл	*E*; В/м	*B*; нТл
Фон по ЭМП	Электросеть и заземление отключены	15	190	0,01	0...1
	Электросеть подключена, заземление отключено	71	180	0,23	0...1
	Электросеть и заземление подключены	27	160	0,01	0...1
ЭМП ЭВМ	Автономное электропитание, заземление отключено	13	140	0,01	0...1
	Электропитание от сети, заземление отключено	63	200	0,24	0...1
	Электропитание от сети, заземление подключено	28	180	0,01	0...1

E-составляющей на разных АРМ зависят от типа ПЭВМ, а также от варианта электропитания и наличия системы заземления – при этом в целом ряде случаев имеет место существенное превышение ПДУ [2].

По данным таблиц 1-2, на АРМ №1 при отсутствии системы заземления указанное превышение ПДУ составляет 2 … 3,5 раза, тогда как при наличии временного заземления через сеть электропитания – уменьшается до фоновых значений (которые на данном АРМ превышают ПДУ [2] при включенном блоке электропитания и отключенной ПЭВМ). В то же время при автономном электропитании ПЭВМ и отключении блока питания от электросети уровни фона и ЭМП уменьшаются вдвое и не превышают ПДУ [2]. Все это говорит о том, что главным источником ЭМП на АРМ №1 является электросеть – для которой следует руководствоваться если не нормой $E = 5$ кВ/м, то уж, наверное, $E = 500$ В/м.

Аналогичным образом на АРМ №2 (см. таблицу 3) главным источником ЭМП является принтер: его ЭМП превышает ПДУ для ПЭВМ более чем в пять раз, однако втрое меньше ПДУ для бытовой аппаратуры [1-2]. Включение ПЭВМ на данном АРМ и в автономном режиме, и при питании от электросети (как заземленной, так и незаземленной) практически не меняет ситуацию. Негативным моментом здесь является очевидно низкое качество системы заземления – однако все равно АРМ №2 следует признать безопасным, если принтер считать электрооборудованием.

Сравнение уровней низкочастотного ЭМП, создаваемого электронными устройствами с одинаковыми малыми размерами, показывает, что Notebook (см. таблицу 4) ничем не отличается от

Таблица 3. Результаты измерения уровней фона и ЭМП, создаваемых Notebook Samsung, дисплей 17 дюймов, с принтером HP LaserJet 1200 на расстоянии 0,5 м при разных вариантах систем электропитания и заземления

Полоса частот		5 Гц … 2 кГц		2 … 400 кГц	
Характеристика ЭМП		*E*; В/м	*B*; нТл	*E*; В/м	*B*; нТл
Фон по ЭМП	Электросеть и заземление отключены	24	150	0,01	0...1
	Электросеть подключена, заземление отключено	27	180	0,01	0...1
	Электросеть и заземление подключены	28	150	0,01	0...1
ЭМП принтера	Электросеть подключена, заземление отключено	130	110	0,28	0...1
	Электросеть и заземление подключены	129	120	0,31	0...1
ЭМП ЭВМ	Автономное электропитание, заземление отключено	26	190	0,01	0...1
	Электропитание от сети, заземление отключено	119	200	0,19	0...1
	Электропитание от сети, заземление подключено	116	170	0,22	0...1

Таблица 4. Результаты измерения прибором B&E-метр уровней фона и ЭМП, создаваемых Notebook Lenovo, дисплей 10 дюймов, на расстоянии 0,5 м при разных вариантах электропитания

Полоса частот		5 Гц … 2 кГц		2 … 400 кГц	
Характеристика ЭМП		*E*; В/м	*B*; нТл	*E*; В/м	*B*; нТл
Уровни ЭМП	Фон по ЭМП	7	130	0,01	0...1
	Автономное электропитание	6	130	0,01	0...1
	Электропитание от сети	65	130	0,20	0...1

Таблица 5. Результаты измерения уровней фона и ЭМП, создаваемых планшетом iPad Apple, дисплей 10 дюймов, на расстоянии 0,5 м при разных вариантах электропитания

Полоса частот		5 Гц … 2 кГц		2 … 400 кГц	
Характеристика ЭМП		*E*; В/м	*B*; нТл	*E*; В/м	*B*; нТл
Уровни ЭМП	Фон по ЭМП	9	130	0,01	0...1
	Автономное электропитание	8	110	0,01	0...1
	Электропитание в режиме подзарядки	9-11	100	0,01	0...1

своих более крупногабаритных аналогов, тогда как планшет iPad (см. таблицу 5), напротив, практически не влияет на уровень фона по ЭМП в любом режиме функционирования.

Выводы

Обследованные ПЭВМ могут работать в условиях автономного электропитания, что позволяет разделить по времени разные режимы их работы и выделить «вклады» в структуру фона по ЭМП как ЭВМ, так и другого оборудования – чего в других ситуациях добиться проблематично. Сопоставление представленных в таблицах 1-5 результатов оценки эколого-эргономической безопасности АРМ по фактору ЭМП с другими аналогичными данными [4] подтверждает, что наиболее «опасными» из дисплеев являются ЭЛТ, что объясняется их принципом работы и техническим устройством. На втором месте по интенсивности создаваемых ЭМП идут мониторы ЖК с люминесцентной подсветкой, используемые в Notebook прежних годов выпуска, – ввиду

применения высоковольтных преобразователей напряжения подсветки газоразрядных ламп холодного свечения. Наименее интенсивные ЭМП создают современные мониторы ЖК со светодиодной подсветкой, где нет таких высоковольтных источников.

Приборы серии B&E-метр применимы для оперативного контроля безопасности АРМ при условии введения в действие НД, содержащих более реалистичные значения ПДУ для напряженности электрического поля и магнитной индукции, особенно на частотах 5 … 2000 Гц. В порядке обсуждения отечественными специалистами было предложено предусмотреть для АРМ значения ПДУ E = 10 В/м; B = 200 нТл (0,16 А/м), близкие к зарубежным нормативам. «Шведские нормы» [1] для оценки эколого-эргономической безопасности реальных АРМ применять нет смысла – поскольку структура техногенного фона по ЭМП определяется целым рядом источников, среди которых мониторы ЭВМ отнюдь не самые важные.

Корректировку НД [2] и введение на частотах 45 … 55 Гц для АРМ значений ПДУ E = 500 В/м и B = 5000 нТл (по аналогии с потребительской бытовой аппаратурой) необходимо дополнить научно-обоснованной методикой практического применения этих норм.

Литература

1. Маслов О.Н. Экологический риск и электромагнитная безопасность. М.: ИРИАС, 2004. – 330 с.
2. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. М.: Роспотребнадзор, 2003 (с изменениями и дополнениями).
3. Маслов О.Н. Случайные антенны: теория и практика. Самара: Изд-во ПГУТИ-ОФОРТ, 2013. – 480 с. // URL: http://eis.psuti.ru/images/books/sluch ant
4. Методы комплексного контроля безопасности информации на объектах телекоммуникационных систем органов государственного управления. М.: Изд. УДП РФ, 2009. – 368 с.

Получено 25.08.2015

Маслов Олег Николаевич, д.т.н.. профессор, заведующий Кафедрой экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

Панферов Дмитрий Юрьевич, контрактный военнослужащий, соискатель Кафедры ЭИС ПГУТИ. Тел (8-846) 228-00-36.

ELECTROMAGNETIC RADIATION SAFETY OF PORTABLE COMPUTER DEVICES

Maslov O.N.[1], Panferov D.Ju.[2]
[1]Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation
[2]Military unit, Moscow, Russian Federation
E-mail: maslov@psati.ru

This work presents method for electromagnetic radiation level determination generated by portable computer devices like Notebook. We demonstrated results of experimental measurements performed for the following devices: Notebook Lenovo 15 Inch.; Notebook Samsung 17 Inch. with printer HP LaserJet 1200; Notebook Lenovo 10 Inch.; tablet iPad Apple 10 Inch. on distances 0.5 m and 1.0 under different power supply (external power supply net and internal battery) as well as with and without grounded power supply system. We compared measured results with electromagnetic radiation safety standards ratified in Russia. These data can be applied for environmental monitoring and estimation of computer workstation safety concerned with non-ionizing electromagnetic field radiation.

Keywords: electromagnetic radiation safety, portable computer devices, electromagnetic field levels, safe levels of electromagnetic radiation

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.4.16

Maslov Oleg Nikolayevich, Doctor of Technical Science, Professor, the Head of Department of Economic Information Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru
Panferov Dmitry Jurjevich, military unit, Moscow, Russian Federation. Tel.: +78462280036.

References

1. Maslov O.N. *Ekologicheskiy risk i elektromagnitnaya bezopasnost* [Environmental risks and electromagnetic safety]. Moscow, IRIAS Publ., 2004. 330 p.
2. *Gigienicheskie trebovaniya k personalnyim elektronno-vyichislitelnyim mashinam i organizatsiya rabotyi. SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03*. [Hygienic requirements for personal computers and the organization of work] Moscow, Rospotrebnadzor, 2003.
3. Maslov O.N. *Sluchaynyie antennyi: teoriya i praktika* [Random antenna: theory and practice]. Samara. PGUTI-OFORT, 2013. 480 p.
4. *Metodyi kompleksnogo kontrolya bezopasnosti informatsii na ob'ektah telekommunikatsionnyih sistem organov gosudarstvennogo upravleniya* [Methods of the complex control of information security at the facilities of government telecommunication systems]. Moscow, UDP RF Publ., 2009. 368 p.

Received 25.08.2015

УДК 004.056

АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ СЕКРЕТНОГО КЛЮЧА В КРИПТОСИСТЕМЕ RSA

Алексеев А.П.
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: apa_ivt@rambler.ru

Описываются результаты анализа алгоритма формирования, открытого и закрытого ключей в асимметричной криптосистеме RSA (Rivest, Shamir, Adleman). Показано, что компрометация криптосистемы RSA возможна не только путем факторизации большого целого числа. При значениях функции Эйлера кратной 10 появляется вероятность появления ключей близнецов, когда сформированные открытые экспоненты оканчиваются цифрами 1 или 9. Приводится доказательство восьми лемм, содержащих теоретическое обоснование возникновения ключей близнецов. Рекомендовано для защиты криптосистемы от уязвимости при формировании ключей делать проверку на полное совпадение открытого и закрытого ключей.

Ключевые слова: криптография, асимметричная криптосистема, уязвимость, секретный ключ, открытый ключ, функция Эйлера, лемма, простое число, четное число, нечетное число, числа Ферма.

Введение. Постановка задачи

Криптосистему RSA разработали R. Rivest, A. Shamir, L. Adleman [1], а саму концепцию шифрования с помощью открытого ключа предложили W.Diffie и M.Hellman [2]. Асимметричная криптосистема RSA широко используется в современных инфокоммуникационных системах благодаря своим несомненным достоинствам: передача приватной информации по незащищенным каналам связи без предварительной передачи секретных ключей с помощью курьеров [3], цифровая подпись финансовых документов [4].

На базе RSA реализована известная почтовая программа PGP [5]. Взлом криптосистемы RSA затруднен вычислительной сложностью факторизации большого целого числа, являющегося произведением простых чисел. При формировании открытого ключа из множества допустимых значений рекомендуют формировать его по случайному закону [7; 11; 13]. В некоторых источниках предлагают использовать открытые ключи, которые содержат малое число единиц при их представлении в двоичной системе счисления [8]. Это позволяет повысить скорость шифрования, так как уменьшается число операций возведения в степень. В других источниках рекомендуют использовать числа Мерсенна и Ферма [6] и малые нечетные числа [10; 12].

Рассмотрим случаи, когда использование некоторых из перечисленных рекомендаций приводит к появлению уязвимостей в криптосистеме.

Теоретическое обоснование

Известно, что расчет секретной экспоненты t в криптосистеме RSA осуществляется с помощью соотношения [1]:

$$s \quad t \equiv 1(\mathrm{mod}(\varphi(r)), \qquad (1)$$

здесь s – число взаимно простое с $\varphi(r)$, так называемая открытая экспонента; r – произведение двух простых чисел p и q (модуль); $\varphi(r)$ – функция Эйлера, которая вычисляется по формуле: