

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИМПУЛЬСОМ**

**Горбачев Н. С.**

*Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ (ДИТИ НИЯУ МИФИ), Димитровград, e-mail: n-gorbachev@bk.ru*

Аннотация: в данной статье затронута проблема безопасности электрических систем нашей страны, а именно перспективные методы борьбы с электромагнитным импульсом (ЭМИ). Рассмотрена природа ЭМИ – совокупность электрических и магнитных полей. Проанализирована история данного явления: период от мощного выброса корональной массы на Солнце в 19 столетии до середины 20 века – пик испытаний ядерного и термоядерного видов оружия. Приведены характеристики и схемы распространения ЭМИ при атмосферном ядерном взрыве. Дана информация о разработках электромагнитного оружия, ведущихся с середины 20 века. Рассмотрены методы борьбы с ЭМИ: экранирование – использование материалов, которые обладают высокой магнитной и электрической проводимостью; использование дополнительных комплектующих в электрических цепях – стабилитронов и варистонов; переход электрических сетей связи к волоконно-оптическим, практически не подверженным губительному воздействию со стороны ЭМИ. Описана перспективная технология в борьбе с ЭМИ – использование явления сверхпроводимости. Дана краткая история открытия данного свойства у веществ. Рассмотрен эффект Мейснера-Оксенфельда, который характеризует явление сверхпроводимости. Отмечены сверхпроводники первого и второго рода. Описано явление высокотемпературной сверхпроводимости. Сделаны выводы о необходимости борьбы с ЭМИ; об оптимальных методах борьбы с ЭМИ.

Ключевые слова: электромагнитный импульс, ЭМИ, ядерное оружие, источник электромагнитного импульса, экранирование, волоконно-оптические сети, сверхпроводимость, эффект Мейснера-Оксенфельда.

## **PROMISING METHODS OF ELECTROMAGNETIC PULSE CONTROL**

**Gorbachev N. S.**

*Dimitrovgrad Engineering and Technological Institute (DITI MEPhI), Dimitrovgrad, e-mail: n-gorbachev@bk.ru*

Annotation: in this article is touched the problem of the safety of electrical systems in our country, namely promising methods of combating electromagnetic pulse (EMP). The nature of EMP is considered – a combination of electric and magnetic fields. The history of this phenomenon is analyzed: the period from a powerful coronal mass ejection on the Sun in the 19<sup>th</sup> century to the middle of the 20<sup>th</sup> century – the peak of nuclear and thermonuclear weapons tests. The characteristics and schemes of EMP propagation in an atmospheric nuclear explosion are given. Information is given about the development of electromagnetic weapons, conducted since the middle of the 20<sup>th</sup> century. The methods of combating EMP are considered: shielding – the use of materials that have high magnetic and electrical conductivity; the use of additional components in electrical circuits - zener diodes and varistones; the transition of electrical communication networks to fiber-optic, practically not subject to harmful effects from EMP. The use of the phenomenon of superconductivity is described as a promising technology in the fight against EMP. A brief history of the discovery of this property in substances is given. The Meissner-Oxenfeld effect, which characterizes the phenomenon of superconductivity, is considered. Superconductors of the first and second kind are marked. The phenomenon of high-temperature superconductivity is described. Conclusions are drawn about the need to combat EMP; about the optimal methods of combating EMR.

Keywords: electromagnetic pulse, EMP, nuclear weapons, electromagnetic pulse source, shielding, fiber optic networks, superconductivity, Meissner-Ochsensfeld effect.

С развитием общества электрификация все плотнее входит во все сферы человеческой деятельности, в том числе и в военную. Создаются электроприборы, активно применяются полупроводниковые технологии при производстве вычислительной техники.

Существенной опасностью для электроприборов является электромагнитный импульс (ЭМИ), способный полностью вывести их из строя. ЭМИ представляет собой совокупность электрических и магнитных полей, возникающих в результате ионизации атомов среды под

действием ионизирующего излучения. Продолжительность ЭМИ порядка нескольких миллисекунд [1].

Основными параметрами ЭМИ являются наводимые в проводах и кабельных линиях токи и напряжения, которые могут приводить к повреждению и уничтожению электронной аппаратуры, а иногда и к выводу из строя людей, работающих с электроникой [1].

Впервые человек познал разрушительную мощь ЭМИ еще в середине 19 столетия, когда произошел мощный выброс корональной массы (ВКМ) на Солнце, который представлял собой плотный поток высокоэнергетических заряженных частиц. Поперечное отклонение этого потока геомагнитным полем Земли вызывает мощный ЭМИ. В истории это событие известно как геомагнитная буря 1859 года, наблюдавшаяся в период с 1 по 2 сентября. Человечество на тот момент располагало только телеграфной инфраструктурой, поэтому основной удар пришелся именно на нее, в результате чего наблюдались разрушения, нарушения работы системы, а также травмы телеграфистов, пожары [2].

В 20 веке человечество вступило в атомную эру. Стремительными темпами началась разработка разрушительного ядерного оружия капиталистическим и коммунистическим лагерями. В ходе серии высотных подрывов зарядов Operation Fishbowl (период с 1962 по 1963 год США) во время ядерного взрыва Kingfish была открыта разрушительная способность электромагнитного импульса, сопровождающего взрыв [3]. Таким образом, применяя физические особенности ядерного взрыва, заключающиеся также в создании разрушительного ЭМИ, и корректируя условия подрыва (высоту, мощность), можно выводить из строя электронику потенциального противника и создавать помехи при передаче сигнала, что может сказаться на скорости ответного удара.

Для оценки характера ЭМИ необходимо рассмотреть наземный и внеатмосферный (высотный) взрывы. В первом случае характерный диаметр района источника, имеющего форму полусферы (рисунок 1), составляет несколько километров. Ассиметричная форма района взрыва вызывает появление полей ЭМИ, постепенно затухающих по мере удаления до нескольких десятков километров. Так как вблизи поверхности Земли достаточно плотная атмосфера, распространение ионизирующего излучения, вызывающего ЭМИ, ограничено и сопоставимо с районами, где имеет место большая часть мгновенных эффектов ядерного взрыва [4].

При атмосферном взрыве ионизирующее излучение способно пройти многие сотни километров до взаимодействия с молекулами воздуха и вследствие его разреженности проникнуть глубоко в атмосферу (рисунок 1). Мощная бомба способна создать район распространения диаметром 1600 км и толщиной порядка 20 км, нижняя граница которого находится на расстоянии 18-20 км от поверхности. Наличие магнитного поля Земли в зоне

действия источника вызывает асимметричный направленный поток электронов, который эффективно преобразует электромагнитную энергию в районе источника в волну ЭМИ, распространяющуюся вниз [4].

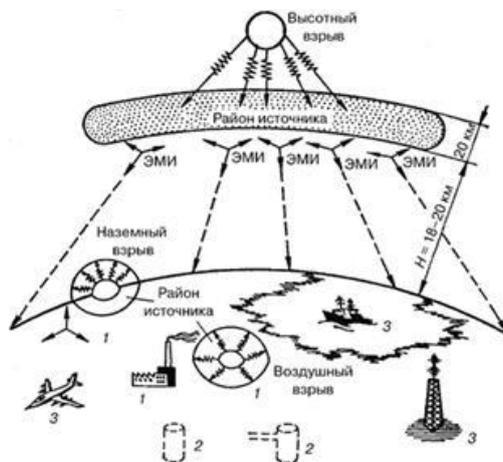


Рисунок 1 – высотный и наземный взрыв

Самый мощный электромагнитный импульс был зафиксирован в 1962 году во время испытаний, проводимых в СССР. Взрыв был произведен на высоте 290 км [5].

Однако с развитием науки ученые пришли к выводу, что атомный заряд является мощным оружием, но малоэффективным источником электромагнитного импульса. Поэтому начались разработки по созданию электромагнитного оружия, в котором для поражения цели используется энергия электромагнитного излучения. Оно направлено на выведение из строя электронного оборудования потенциального противника [6].

При создании такого типа оружия необходимо учитывать и обеспечение защитой от ЭМИ своей вычислительной аппаратуры, применяя для этого различные технологии.

Довольно часто в качестве защитного механизма системы от влияния электромагнитного излучения применяют экранирование, а именно использование материалов, которые не пропускают излучение, то есть обладают высокой магнитной или электрической проводимостью, для окружения или обшивки аппаратуры. Однако в данном способе возможны дефекты, из-за которых происходит его пробитие, в виду неидеального построения экрана (как правило на сварных швах возможны пробой) или недооценки мощности ЭМИ [7].

Альтернативным решением служит использование дополнительных комплектующих в цепи, позволяющих разомкнуть ее при возникновении сильных индукционных токов от ЭМИ. Распространены стабилитроны – полупроводниковые диоды, которые рассчитаны на работу в режиме пробоя с резким увеличением сопротивления и варисторы – полупроводниковые резисторы, способные уменьшать свое сопротивление при увеличении приложенного к нему напряжения выше пороговой величины [6].

Более сложным решением проблемы защиты от ЭМИ является переход на использование иных кабельных вводов, а именно переход от электрических сетей связи к практически не подверженному воздействию ЭМИ волоконно-оптическим. Однако полная замена полупроводниковых приборов на электронно-оптические возможна только в отдаленном будущем [8].

Наиболее перспективной технологией защиты вычислительной аппаратуры от ЭМИ является использование явления сверхпроводимости, которое возникает при охлаждении некоторых материалов до экстремально низких температур (от 203 до 0 К).

Данное квантовое явление характеризуется эффектом Мейснера-Оксенфельда, заключающийся в вытеснении магнитного поля из объема сверхпроводника (рисунок 2). В настоящий момент он внедряется в технологию транспорта на магнитной подушке [9].

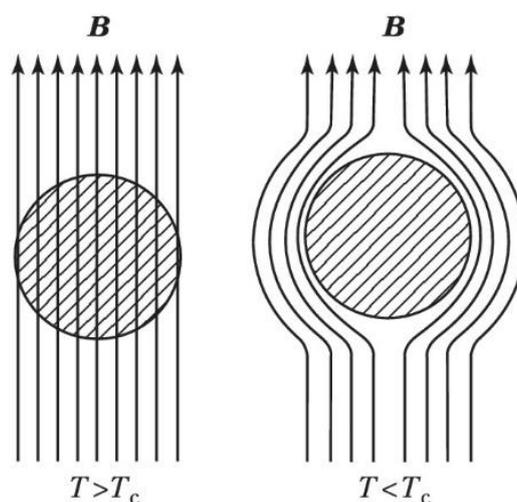


Рисунок 2—эффект Мейснера-Оксенфельда

Эффект Мейснера-Оксенфельда объясняется наличием незатухающих токов внутри сверхпроводника, которые создают внутреннее магнитное поле, противоположно направленное внешнему, тем самым компенсируя его. Однако достаточно сильное внешнее магнитное поле способно разрушить сверхпроводящее состояние вещества. Магнитное поле с напряжённостью  $H_c$ , которое при данной температуре вызывает переход вещества из сверхпроводящего состояния в нормальное, называется критическим полем. При уменьшении температуры сверхпроводника величина  $H_c$  возрастает, а увеличение температуры приводит к разрушению сверхпроводящего состояния (рисунок 2). Зависимость величины критического поля от температуры [9]:

$$H_c(T) = H_{c0} * \left(1 - \frac{T^2}{T_c^2}\right) \quad (1)$$

где  $H_c(T)$  – критическое магнитное поле при заданной температуре,  $H_{c0}$  – критическое поле при нулевой температуре,  $T$  – заданная температура,  $T_c$  – критическая температура.

Можно сделать вывод, что при уменьшении температуры возможно сдерживание достаточно сильных внешних магнитных полей.

Более перспективно использование сверхпроводников второго рода, так как они имеют два значения критического магнитного поля, что в свою очередь позволяет более качественно сдерживать магнитный поток даже при достижении первого критического состояния, когда частично состояние сверхпроводимости будет разрушено. У сверхпроводников первого рода такое значение критического поля одно [9].

Также имеет место использование высокотемпературных сверхпроводников (температура перехода в сверхпроводящее состояние выше или равна температуре кипения жидкого азота – 77 К), потому что именно они в виду сравнительно высоких температур могут применяться на практике.

Данная технология позволит не только обезопасить вычислительную аппаратуру от пагубного воздействия электромагнитного импульса, но и сохранить линии электропередач (ЛЭП). ЛЭП, спроектированные с использованием технологии сверхпроводимости, способны не только передавать электроэнергию без потерь на тепловое рассеяние, но и противостоять магнитному потоку.

Таким образом, электромагнитный импульс несет реальную угрозу для электроники. Вопросы обеспечения защиты от ЭМИ должны быть в приоритете, так как ядерное оружие еще стоит на вооружении ряда стран, также во всем мире ведутся разработки магнитного оружия. Внезапное нанесение удара с генерацией ЭМИ может привести к сгоранию чувствительных электронных и электрических элементов, связанных с большими антеннами или открытыми проводами (электросеть), а также к серьезным нарушениям в цифровых и контрольных устройствах, часто без необратимых эффектов. Потеря электронной аппаратуры способно спровоцировать полную недееспособность боевой единицы, отсутствие связи, травмы личного состава, несвоевременный ракетный удар. На данный момент оптимальные методы борьбы с ЭМИ: переход на оптоволоконные кабели; использование явления сверхпроводимости; создание стабилитронов и варистонов, способных противостоять мощным ЭМИ.

Список литературы:

1. Гуревич В. И. Электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва и защита электрооборудования от него. – М.: Инфра-Инженерия, 2018 – 508 с.
2. Геомагнитная буря 1859 года – 2021 – [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Геомагнитная\\_буря\\_1859\\_года](https://ru.wikipedia.org/wiki/Геомагнитная_буря_1859_года) (дата обращения: 30.07.2021).
3. Operation Fishbowl – 2021 – [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Operation\\_Fishbowl](https://en.wikipedia.org/wiki/Operation_Fishbowl) (дата обращения: 30.07.2021).

4. Рикетс Л. У., Бриджес Дж. Э., Майлетта Дж. Электромагнитный импульс и методы защиты: Пер. с англ./ Под ред. Н. А. Ухина. – М.: Атомиздат, 1979. – 328 с. США, 1976.
5. Электромагнитный импульс как оружие – 2021 – [Электронный ресурс]. URL: <https://zen.yandex.ru/media/wt1/elektromagnitnyi-impuls-kak-orujie-5bbf1a8b7c56be00acf86d1b> (дата обращения: 30.07.2021).
6. Электромагнитное оружие – 2021 – [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромагнитное\\_оружие](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромагнитное_оружие) (дата обращения: 07.08.2021).
7. Электромагнитное экранирование – 2021 – [Электронный ресурс]. URL: <https://faradey.ru/electromagnetic-shielding/> (дата обращения: 07.08.2021).
8. Электромагнитный импульс ядерного взрыва и защита от него радиоэлектронных средств – 2021 – [Электронный ресурс]. URL: <https://uceleu.ru/blog/educational/242.html> (дата обращения: 08.08.2021).
9. Сверхпроводимость, явление, открытие, теория и применение – 2021 – [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--80aaaftebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/sverhprovodimost-yavlenie-otkrytie-teoriya-i-primenenie/> (дата обращения: 10.08.2021).